



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Construcción de un modelo de plataforma IoT para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa dentro del marco del corredor tecnológico agroindustrial Bogotá - Cundinamarca

Néstor Eliécer Manosalva Barrera

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Bogotá, Colombia
2018

Construcción de un modelo de plataforma IoT para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa dentro del marco del corredor tecnológico agroindustrial Bogotá - Cundinamarca

Néstor Eliécer Manosalva Barrera

Tesis o trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones

Director:

Ingeniero Jesús Guillermo Tovar

Codirector:

Ingeniero Carlos Osorio Ramirez

Línea de Investigación:

Trazabilidad

Grupos de Investigación:

UNeT_{RT} - SEPRO - ANGeoSc

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá, Colombia

2018

Dedicado a mis padres

El tamaño de éxitos será del tamaño de tu
esfuerzo.

Francisco de Miranda

Agradecimientos

A mi director de tesis el Profesor Jesús Guillermo Tovar que más que un profesor considero un amigo, coordinador de la Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y director del grupo de Investigación UNeT_{RT} por su permanente acompañamiento, orientación y disposición a trabajar, por no haber declinado a pesar de los muchos obstáculos que se presentaron durante el desarrollo del trabajo. A mi codirector de tesis el profesor Carlos Osorio Ramirez, por su apoyo para que el trabajo pudiera llegar a feliz término y quien finalmente propusiera el desarrollo de una tesis en torno al tema de la trazabilidad.

Al grupo de investigación SEPRO de la Universidad Nacional de Colombia en cabeza del profesor Wilson Adarme Jaimes, quién me diera la oportunidad de haber coordinado el área TIC del Corredor Tecnológico, lo que permitió implementar la propuesta de modelo de sistema de trazabilidad.

Al grupo de investigación ANGeoSc y su directora Profesora Libia Denise Cangrego por haber despertado en mi, el interés de investigación alrededor del Internet de las Cosas, área tecnológica fundamental para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A las personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo del trabajo de investigación, Laura Rivera por sus clases de revisión de estilo, al profesor Javier Orjuela Castro por compartir su experiencia investigativa en temas de trazabilidad de productos agrícolas, a Alexander Balcazar Camacho por su guía y orientación con la estructuración del documento, a Jairo Mejía Aponte y Julian Latorre Ochoa por su valiosas enseñanzas en electrónicos, a Andrés Riaño y Alejandro Moncada por sus oportunas propuestas para la modelación y construcción de sistemas informáticos y por último y no menos importante a Claudia Marcela Muñoz por su gran interés en este proyecto coordinando y propiciando las condiciones para poder realizar las pruebas de campo del prototipo.

Resumen

La trazabilidad de productos agrícolas implica el desarrollo y aplicación de nuevos procesos que utilicen y adecuan los avances tecnológicos basados en los conceptos clásicos de trazabilidad para facilitar el seguimiento a lo largo de las cadenas de suministro. Utilizando estos conceptos es posible aumentar la visibilidad de los procesos y generar un mayor volumen de datos que puedan ser utilizados para identificar las condiciones que afectan a los productos frescos que no están cubiertos por los enfoques tradicionales de trazabilidad. Los avances tecnológicos permiten la implementación de nuevos instrumentos de medición, sensores y dispositivos de comunicación para entregar datos en tiempo real sobre el estado de variables como temperatura, humedad, localización, pitch and roll (giroscopio) entre otros. Esta investigación aborda estos aspectos a través de la consolidación de un modelo de plataforma IoT que incorpore la adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis y presentación de datos al usuario final.

Palabras clave: Internet de las cosas, Trazabilidad, cadena de suministro, Nube, Sistemas embebidos, Sensores, Redes .

Abstract

The traceability of farm products implies the development and application of new processes that use and appropriate technological advances based on the classical concepts of traceability to facilitate the tracking along supply chains. Technological advances allow the implementation of new measuring instruments, sensors and communication devices in order to deliver data regarding the status of variables such as temperature, humidity, location (GPS), pitch and roll (gyroscope) in real-time. Using those variables it is possible to increase the visibility of processes and generate a greater volume of data that can be used to identify conditions that affect fresh products which are not covered by traditional approaches of traceability. This research addresses those aspects through the consolidation of IoT platform model including data acquisition, storage, processing, analysis and presentation to the end user.

Keywords: IoT, Traceability, Supply chain, Cloud, embedded systems, Sensors, Networks

Contenido

Agradecimientos	VII
Resumen	IX
1. Marco teórico	2
1.1. Antecedentes y justificación	2
1.2. Objetivos	5
1.2.1. General	5
1.2.2. Específicos	5
1.3. Alcance	6
1.4. Metodología	7
2. Estado del arte	8
2.1. Análisis bibliométrico	8
2.1.1. Evolución en el tiempo	8
2.1.2. Origen de las publicaciones	9
2.1.3. Autores	10
2.1.4. Clústers o tendencias literarias	10
2.2. Internet de las Cosas	13
2.2.1. Arquitecturas	15
2.2.2. Protocolos	19
2.2.3. Computación	21
2.2.4. Redes de datos	21
2.2.5. Sensórica	23
2.2.6. Desarrollo de aplicaciones	25
2.3. Trazabilidad	26
2.3.1. Definición	27
2.3.2. Atributos de un Sistema de Trazabilidad	27
2.4. Proceso logístico dentro de la CSA	28
2.4.1. Algunas aplicaciones de TI dentro de los procesos	31
3. Evaluación del estado tecnológico	32
3.1. Estado tecnológico de la red actual de suministro de la fresa	34

3.2.	Cobertura de redes de datos	36
3.2.1.	Fuentes de datos	36
3.3.	Fuentes secundarias	37
3.3.1.	Estado de las telecomunicaciones en Colombia	37
3.4.	Fuentes primarias	40
3.4.1.	Resultados y análisis de captura de datos con OpenSignal	41
3.5.	Mapas de cobertura	41
4.	Def. del modelo conceptual de plataforma para la identificación de componentes	45
4.1.	Operación logística	45
4.1.1.	Metodología	45
4.1.2.	Actores	47
4.1.3.	Modos Sub-procesos	48
4.1.4.	Cadena de suministro de fresa en Cundinamarca, Colombia	50
4.1.5.	Propuesta de proceso logístico a partir de la Caracterización para la implementación de un sistema de trazabilidad	50
4.2.	Componentes del Sistema de Trazabilidad	53
4.2.1.	Alcance	53
4.2.2.	Elementos que serán rastreados	54
4.2.3.	Medios	54
4.2.4.	Desempeño	55
4.3.	Metodología ADD	55
4.3.1.	Entradas	56
5.	Diseño del prototipo de plataforma tecnológica	60
5.1.	Consideraciones	60
5.2.	Metodología	61
5.3.	Etapas de Análisis y especificación de requerimientos	61
5.3.1.	Parametrización del sistema	61
5.4.	Modelo conceptual de arquitectura IoT	63
5.5.	Diseño del prototipo - Sistema Embebido	63
5.5.1.	Casos de uso del sistema	65
5.5.2.	Nodos IoT	65
5.5.3.	Capa de sensado	68
5.5.4.	Capa de red - Topología de la red	69
5.6.	Diseño del prototipo - Capa Cloud	71
5.6.1.	Casos de uso	71
5.6.2.	Gestión de datos	71

6. Implementación de prototipo de plataforma para la validación tecnológica	74
6.1. Sistema embebido	74
6.1.1. HARDWARE	74
6.1.2. SOFTWARE	76
6.2. Sistema en Cloud	83
6.2.1. Módulo de trazabilidad - AWS	83
6.2.2. Escenarios de pruebas	85
6.3. Evaluación	89
6.3.1. Cambios y/o modificaciones	89
6.4. Escenarios de pruebas	89
6.4.1. Escenario de pruebas - Laboratorio	89
6.4.2. Escenario de pruebas - Entorno de pruebas real	97
7. Conclusiones	109
8. Trabajo futuro	112
A. Anexo: Tabla de registros de calidad celular de OpenSignal	113
B. Anexo: Tabla de registros de dispositivo de trazabilidad	115
C. Anexo: Pruebas de tracking en dispositivo de trazabilidad	117
Bibliografía	121

Lista de Figuras

1-1. Dominios de aplicación de IoT	4
2-1. Producción literaria por años	9
2-2. Producción literaria por países	10
2-3. Autores	11
2-4. Cluster de tendencias	12
2-5. Evolucion de IoT	14
2-6. Arquitectura Básica para IoT	17
2-7. Arquitecturas IoT	18
2-8. Protocolos de comunicación	20
2-9. Sensibilidad al Contexto	25
2-10. Medidas de desempeño para una red logística	29
2-11. Relación entre la estructura de la cadena de suministro y la implementación de sistemas de trazabilidad	30
3-1. Dominios de la arquitectura empresarial	33
3-2. Problemáticas mas relevantes para Doing Business en Colombia 2016 - 2017	34
3-3. Acceso a equipos tecnológicos	35
3-4. Tipos de registro	35
3-5. Barreras para el uso de internet móvil	38
3-6. Uso de internet móvil en Colombia	39
3-7. Transición de 2G a 4G	40
3-8. Análisis estadístico a nivel de cobertura de red, Movistar Colombia	41
3-9. Mapas de cobertura de redes de datos	44
4-1. Marco general	46
4-2. Elementos de análisis para el proceso logístico	46
4-3. Ficha técnica de encuesta	47
4-4. Municipios Productores de Fresa	48
4-5. BPMN	50
4-6. Modelo propuesto de red ideal para la fresa	52
4-7. METODO	ADD
Fuente: Adaptado de Wood [2007]	57
4-8. Descripción funcional general del modelo de Sistema	59

5-1. Metodología Orientada a Prototipos	62
5-2. Modelo conceptual de arquitectura IoT	64
5-3. Diagrama de Casos de Uso para sistema embebido	65
5-4. Tipología de Nodos	67
5-5. Inclinación y pendiente	68
5-6. Topología	70
5-8. Diagrama de Casos de Uso para módulo de trazabilidad de aplicación en Cloud	71
5-7. Arquitectura de referencia	72
6-1. Esquemático de nodo	75
6-2. PCB del prototipo	76
6-3. Modelo de Datos	77
6-4. Diagrama de estados	78
6-5. Funciones de node-red	79
6-6. Etapas para envío de datos	81
6-7. Menú inicio (Sup), Variables (Inf)	83
6-8. Estado del sistema + Vista de productor y conductor	84
6-9. Diagrama de flujo para escenario 1	86
6-10. Diagrama de flujo para escenario 2	87
6-11. Diagrama de flujo para escenario 3	88
6-12. Diagrama de red	90
6-13. Tamaño de archivos .dmpg	91
6-14. Estadísticas de resultados de laboratorio	91
6-15. Carga de CPU en EC2	92
6-16. Bytes de red de entrada en EC2	92
6-17. Bytes de red de salida en EC2	93
6-18. Paquetes de entrada en interfaz de red de EC2	93
6-19. Paquetes IP de salida en interfaz de red de EC2	94
6-20. Tiempos de respuesta con conexión 3G	94
6-21. Tiempos de respuesta con conexión 4G	95
6-22. Tiempos de respuesta en corredor Norte, Claro	97
6-23. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Norte, Claro	98
6-24. Tiempos de respuesta en corredor Norte, Movistar	99
6-25. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Norte, Movistar	100
6-26. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Occidental, Claro	101
6-27. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Occidental, Movistar	102
6-28. Tiempos de respuesta en corredor Occidental, Movistar	103
6-29. Tiempos de respuesta en corredor Occidental, Claro	103
6-30. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Sur, Claro	105
6-31. Mapa de tiempos de respuesta en corredor Sur, Movistar	106

6-32.	Tiempos de respuesta en corredor Sur, Movistar	107
6-33.	Tiempos de respuesta en corredor Sur, Claro	107
C-1.	Velocidad	117
C-2.	Humedad	118
C-3.	Temperatura	119
C-4.	Pendiente	120

Lista de Tablas

2-1.	Usos de IoT en la CSA	16
2-2.	Cuadro comparativo de protocolos	20
2-3.	Tipos de sensores	24
3-1.	Cobertura de redes de datos	43
3-2.	Comparación de velocidad entre 3G y 4G	43
4-1.	Objetivos del Sistema de Trazabilidad	53
4-2.	Tabla de requerimientos funcionales	58
5-1.	Cuadro comparativo de protocolos a nivel de sensores	66
6-1.	Voltajes de componentes	76
6-2.	Tráfico generado en estado Stanby	95
6-3.	Tráfico generado con acceso a interfaz web	95
6-4.	Tráfico generado en operación	96
6-5.	Medias de variables de interes	108
6-6.	Indice de correlacion de Pearson	108

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ADI</i>	Affordability Drivers Index
<i>API</i>	Application Programming Interface
<i>AWS</i>	Amazon Web Service
<i>BPMN</i>	Business Process Model and Notation
<i>CSA</i>	Cadena de Suministro de Alimentos
<i>CTA</i>	Corredor Tecnológico Agroindustrial
<i>DOP</i>	Desarrollo Orientado a Prototipos
<i>EC2</i>	Elastic Compute Cloud
<i>EDGE</i>	Enhanced Data rates for GSM Evolution
<i>EPICS</i>	Electronic Product Code Information Services
<i>GPON</i>	Gigabit-capable Passive Optical Network
<i>GPRS</i>	General Packet Radio Service
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>GSM</i>	Global System for Mobile Communications
<i>HSDPA</i>	Evolved High-Speed Packet Access
<i>HSPA</i>	High-Speed Packet Access
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>i2c</i>	Inter-Integrated Circuit
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<i>IBSG</i>	Internet Business Solutions Group
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization
<i>ISP</i>	Internet Service Provider
<i>IT</i>	Information Technology
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>LIFO</i>	Last In First Out
<i>LLC</i>	Logical Link Control
<i>LTE</i>	Long Term Evolution
<i>MAC</i>	Media Access Control
<i>Mbps</i>	Megabit per second
<i>M2M</i>	Machine to Machine
<i>PAN</i>	Personal Area Network
<i>PCB</i>	Printed Circuit Board
<i>PYMES</i>	Pequeñas y Medianas Empresas
<i>QoS</i>	Quality of Service
<i>RECO – ADS</i>	RESTful Economic-Aggregating Discovery Service
<i>SBC</i>	Single Board Computer
<i>NFC</i>	Near Field Communication

Abreviatura	Término
<i>REST</i>	Representational State Transfer
<i>UART</i>	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
<i>UMTS</i>	Universal Mobile Telecommunications System
<i>WAN</i>	Wide Area Network

Introducción

El presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio del *IoT* (IoT por sus siglas *Internet of Things*), en el ámbito del proceso logístico de la fresa en Cundinamarca, Colombia; basado en un enfoque inductivo desde un estudio de caso (desarrollo realizado por el grupo de investigación Sepro, Unal). Del desarrollo de la investigación se espera proponer lineamientos para la construcción de un modelo de sistema de trazabilidad mediante la implementación de una solución tecnológica de sistema informático delimitado específicamente al flujo de materiales en la cadena de suministro durante las etapas de transporte y almacenamiento.

En primer lugar el estudio inicia con el levantamiento de requerimientos a partir de la caracterización del proceso logístico de la fresa en Cundinamarca, Colombia. Posteriormente se realiza un estudio de los protocolos y dispositivos de sensado utilizados en IoT para la construcción de un prototipo de sistema de trazabilidad, proceso que comprende las etapas de captura, almacenamiento, envío y procesamiento de datos. De la implementación propuesta se espera: generación de analíticas que permitan identificar las posibles causas de pérdida de calidad del producto durante la etapa de transporte y almacenamiento en el proceso logístico.

La revolución del Internet de las Cosas, está replanteando la forma como funciona la cadena de suministro de alimentos, al permitir la visibilidad y comunicación de los stakeholders, sus productos y procesos. La inclusión de dispositivos que capturan una mayor variedad y cantidad de datos por medio de la implementación de protocolos de comunicación ligeros acompañados del diseño de arquitecturas de software y hardware, presentan alternativas para la gestión y administración de datos. Por consiguiente, el IoT se ha convertido en una tecnología que permite desarrollar trazabilidad a través de la recuperación de la historia del proceso que ocurre paralela a la gestión de la cadena de suministro.

1. Marco teórico

1.1. Antecedentes y justificación

La finalidad de este trabajo de investigación es el desarrollo de una solución tecnológica de trazabilidad bajo el paradigma IoT a partir de la caracterización del estado actual del proceso logístico de la fresa en Bogotá, Cundinamarca. A través de la captura, almacenamiento, transmisión y procesamiento de datos simultáneamente al desarrollo del proceso logístico se busca dar solución a algunas problemáticas del sector como: falta de control y monitoreo, poca coordinación entre actores, altos tiempos de respuesta, carencia de la historia de los productos, entre otros (Orjuela-Castro et al. [2017]). Rene Villalobos menciona la importancia de los registros históricos, dado que permiten la generación de análisis predictivos, con el fin de conocer la demanda del consumidor antes de cosechar, permitiendo a los agricultores el desarrollo de procesos de producción más efectivos para dar respuesta a las dinámicas cambiantes de los mercados.

Los registros históricos de las condiciones meteorológicas, permiten delimitar temporal y espacialmente zonas idóneas de siembra, es decir, variables que puedan incidir en el rendimiento de los cultivos y que a través de estos datos se puedan realizar análisis predictivos en un sistema para la toma de decisiones o DSS (por sus siglas *Decision Support System*). Los DSS deben permitir llegar al consumidor y a su vez identificar cuáles intermediarios agregan o quitan valor. Esta herramienta es motivadora de cambio para los procesos tradicionales dado que permite contemplar aspectos estratégicos, tácticos y operativos bajo un mismo sistema y a la vez contribuye con la obtención de mayores márgenes de ganancia. Lo anterior permite dar transparencia a los procesos y productos con el fin de generar relaciones de confianza con los consumidores (Ahumada y Villalobos [2011]). En resumen, incorporar módulos de oferta y demanda en donde productores y consumidores puedan tranzar operaciones, permitirá un aumento en la calidad y precio de los productos.

El análisis de la trazabilidad en los alimentos es un fenómeno global y creciente debido al interés en la protección al consumidor y productor a través de nuevas reglas de mercado que buscan un balance natural entre los actores de la cadena del proceso logístico de los productos agrícolas (Aesan [2010]). Por lo tanto, se propone el uso de sistemas de trazabilidad como posible herramienta de soporte tecnológico que de solución a algunas problemáticas del sector agropecuario en Colombia. La implementación de normas internacionales para la

regulación de los alimentos perecederos es un claro ejemplo de esta tendencia. En 2002, se establece el reglamento en el que se definen los principios y requisitos generales de la legislación alimentaria a partir de la cual se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se establecen los procedimientos relativos a la seguridad alimentaria. En el reglamento N° 178/20002, se define trazabilidad como “la posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinados a ser incorporados en alimentos o piensos o con probabilidad de serlo” (“Diario Oficial de las Comunidades Europeas 1.2.2002 L 31_2” [2002]).

Así mismo, un conjunto de problemáticas ocurridas en el mundo han motivado el interés en la seguridad alimentaria por parte de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Los casos de encefalopatía atípica, conocida como enfermedad de “las vacas locas”, en el Reino Unido en 1996, la contaminación de dióxido en Bélgica en 1999 o la contaminación de leche con melanina en China en el 2008 (Liao et al. [2011]), son algunos de los ejemplos por los cuales surgió la necesidad de implementar sistemas de trazabilidad. Dabbene et al. [2014] destacan los diferentes beneficios de implementar sistemas de trazabilidad tales como: mayor cumplimiento en las regulaciones nacionales e internacionales del tratamiento de alimentos, implementación de estrategias y programas de marketing enfocadas en la transparencia de los procesos, la garantía del origen del producto, mayor identificación y calidad y, la más importante, la necesidad de métodos efectivos de reacción ante la aparición de incumplimientos sanitarios.

No obstante, dentro de los principales obstáculos que se presentan para implementar un sistema de trazabilidad, están los costos que acarrearía para los productores que no dispongan de la suficiente capacidad económica, por lo que se resalta la necesidad de agremiación por parte de pequeños productores (Bosona y Gebresenbet [2013]). Por lo anterior, la trazabilidad de las cadenas de suministros de alimentos en pymes representa para la comunidad académica una oportunidad de investigación sobre la trazabilidad de las cadenas de suministro de alimentos por el interés que despierta a nivel industrial y gubernamental (Nukala et al. [2016]).

Borgia [2014] identifica tres dominios de aplicación en donde IoT tendrá mayor impacto, estos son: Dominio Industrial, Smart city, Salud y bienestar (ver figura 1-1).

Para el dominio Industrial, campo en el que se encuentra inmerso el presente trabajo de investigación, aparece la subdivisión de logística y ciclo de vida del producto (ver figura 1-1). Los sistemas basados en IoT permiten monitorear durante la etapa de transporte los alimentos al igual que la calidad y/o estado de los mismos mediante el uso de sensorica. Romper con la larga cadena de intermediarios al darle mayor visibilidad al productor creando relaciones de confianza productor - consumidor podría ser solo uno de los beneficios del IoT

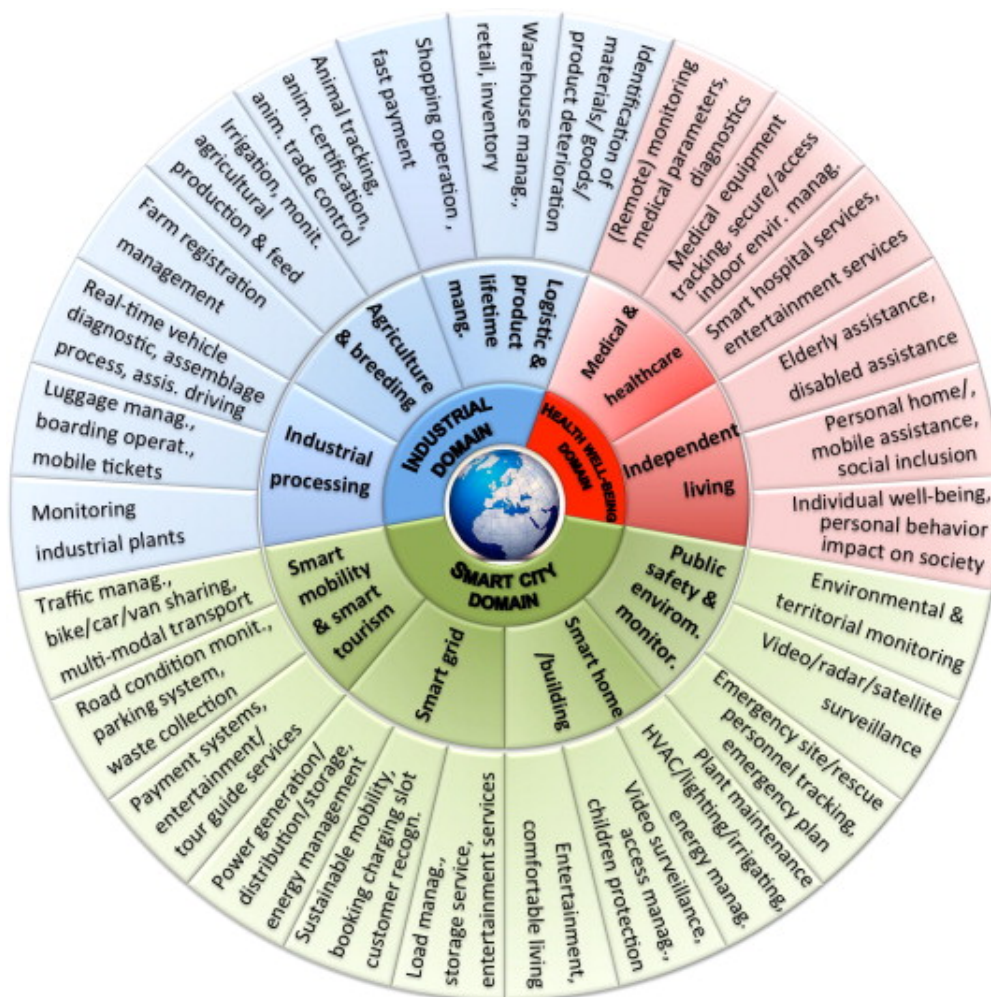


Figura 1-1.: Dominios de aplicación de IoT

Fuente: Tomado de Borgia [2014]

para el agro en Colombia mediante la implementación de sistemas informáticos aprovechando la reducción de costos de manufactura de sensores, ampliación de la cobertura en redes de datos móviles y el desarrollo de APIs de programación que permiten la construcción de sistemas informáticos en tiempos y costos cada vez menores.

Formulación de la pregunta de investigación

Dentro de uno de los objetivos macro del proyecto CTA se plantea la necesidad de identificar, proponer y desarrollar una plataforma tecnológica para la trazabilidad del proceso logístico de los productos perecederos incluidos en el corredor tecnológico. Bajo estos aspectos se pretende abordar la problemática referente a la falta de tecnologías que soporten la trazabilidad de la fresa con el uso IoT. Inicialmente, se evidencia la dificultad a partir de la revisión de fuentes primarias y secundarias, las falencias y dificultades en los procesos y procedimientos debido a la ausencia de protocolos de manejo, normas técnicas regulatorias de calidad y ausencia de plataformas tecnológicas para la trazabilidad de los productos frescos incluidos en el CTA. El trabajo de investigación se delimita únicamente a la fresa, sin pérdida de generalidad, esto justificado por la alta heterogeneidad en cuanto a prácticas logísticas. que implicaría proponer un modelo genérico para diferentes productos agrícolas.

Bajo estos aspectos se plantea la pregunta ¿cómo dar solución a algunas de las problemáticas del proceso logístico actual de la fresa para el corredor Bogotá, Cundinamarca a partir de una solución tecnológica de trazabilidad bajo el paradigma IoT?, lo que resulta finalmente como el eje de desarrollo del presente trabajo de investigación.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Construir un modelo de plataforma IoT para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa dentro del marco del corredor tecnológico agroindustrial Bogotá, Cundinamarca.

1.2.2. Específicos

1. Realizar la evaluación del estado tecnológico referente a infraestructura de telecomunicaciones, plataforma computacional y sistemas de información para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa con el fin de tener visibilidad tecnológica y emitir los lineamientos para el modelo conceptual de arquitectura IoT propuesto.
2. Definir el modelo conceptual de plataforma para la identificación de componentes a partir de los resultados de la caracterización del proceso logístico de la fresa y de la

evaluación tecnológica.

3. Diseñar un prototipo de plataforma tecnológica para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa considerando el modelo conceptual de arquitectura IoT, que permita en una fase posterior realizar, la implementación, despliegue y operación de la solución propuesta.
4. Implementar el prototipo de modelo de arquitectura IoT en un escenario de laboratorio y/o de entorno de prueba real para la validación tecnológica y funcional de la plataforma propuesta en el proceso de trazabilidad de la fresa.

1.3. Alcance

A partir de las conclusiones del proyecto “Diagnóstico del estado tecnológico y evaluación tecnológica y de procesos en el sistema operación logística y distribución en Bogotá y Cundinamarca” derivado 2 del proyecto Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA) desarrollado por el grupo de investigación SEPRO de la Universidad Nacional de Colombia, se espera construir un modelo de plataforma IoT para la trazabilidad del proceso logístico de la fresa a partir de la construcción de un modelo de operación ideal. Se identifica como oportunidad de investigación, el desarrollo de metodologías que permitan diagnosticar, diseñar e implementar sistemas de trazabilidad para los procesos logísticos en cadenas de suministro en pymes, dado que las aplicaciones identificadas a nivel científico y casos de estudios, se orientan a grandes empresas con adecuada capacidad de inversión y organización de sus sistemas logísticos dejando a un lado a un sector tan importante para Colombia como es el de las pymes. Este planteamiento implica que las metodologías a proponer consideren la identificación, caracterización de los procesos, actores, relaciones y aspectos económicos y flujos tanto de productos como de datos.

En el transcurso de la investigación se tomaran encuestas a Productores, Transportista y Mayoristas de algunos de los municipios con mayor volumen de producción de fresa incluidos en el corredor. El proceso de trazabilidad se realizará desde el momento en el que el camión recolector pasa por el producto en la finca, hasta su disposición en bodega de mayorista pasando por centro de acopio municipal. Mediante la implementación de un prototipo funcional que incorpore componentes de hardware y software haciendo referencia a un dispositivo de trazabilidad y conectado a un aplicativo centralizado con el fin de validar el modelo de arquitectura de sistema de trazabilidad propuesto.

1.4. Metodología

El tipo de estudio que pretende desarrollarse con la presente investigación, se inscribe en el ámbito de la exploratoria investigativa proyectiva, dado que se evidencia la necesidad de una implementación basada en tecnologías de la información y Telecomunicaciones que represente una alternativa de solución al problema de trazabilidad en la operación logística de la fresa.

Siguiendo el esquema teórico que sirve de guía para la búsqueda de información empírica, el estudio de caso aquí propuesto es mixto, es decir, se emplearán técnicas tanto cuantitativas como cualitativas, las cuales son:

- Observación
- Investigación documental
- Encuestas (Desarrollo y aplicación de instrumentos)
- Pruebas de telecomunicaciones en laboratorio
- Panel de expertos

Los ambientes bajo los cuales se desarrollará la presente investigación van desde prácticas en laboratorio (Revisión y/o evaluación de tecnologías para IoT) hasta salidas de campo (Aplicación de instrumentos). Cabe mencionar que dada la complejidad y heterogeneidad de los objetivos del trabajo de investigación, se desarrollan diferentes estrategias y métodos de investigación mencionados en el desarrollo de cada uno de los capítulos.

2. Estado del arte

2.1. Análisis bibliométrico

Se realizó un análisis bibliométrico básico con el fin de identificar algunas tendencias o redes de autores que pudieran ser considerados como referencia o puntos de partida en el tema y en cuanto a publicaciones académicas que se encuentren enmarcadas dentro de la literatura del presente proyecto de investigación.

Para tal fin, se llevó a cabo una búsqueda en la base de datos Scopus, la cual se seleccionó considerando que es la más grande en términos a nivel de abstracts y citaciones de literatura revisada por pares en los campos de ciencia, tecnología, medicina, ciencias sociales, artes y humanidades. Los aproximadamente 20,000 Journals revisados por pares que el gestor cubre hacen que sea más probable encontrar material en cualquiera de las áreas previamente mencionadas (Fahimnia et al. [2015]).

Se optó por utilizar una ecuación de búsqueda que contenía los términos de “Internet of Things”, “Traceability” y “Supply Chain”, frases que componen la categorías conceptuales sobre las que se desarrolla la investigación. Bajo estos parámetros fueron encontrados en total 208 documentos distribuidos de la siguiente manera: 104 correspondían a Artículos, 90 a artículos de conferencia, 10 a Reviews y 4 a capítulos de libros. Se utilizó el software Bibexcel para el manejo y refinamiento de todo lo relacionado con metadatos; mientras que VosViewer fue utilizado para generar grafos que indiquen la relación entre las palabras de la ecuación de búsqueda y otras cuya frecuencia de aparición sea considerable. Se utiliza Supply Chain en lugar de proceso logístico en la ecuación de búsqueda debido a que en etapas posteriores al desarrollo de la propuesta se encontró que la expresión Proceso Logístico únicamente hace referencia al flujo de datos, mercancía, dinero y que no contiene aspectos importantes para la construcción de un modelo como usuarios y/o roles, por otra parte la realización de investigación en la Cadena de Suministro permitió tener una visión holística y por ende sistémica del proceso logístico dentro del contexto de la CSA.

2.1.1. Evolución en el tiempo

Teniendo en cuenta que, tal y como se verá en el respectivo apartado del tema, el IoT es un concepto que surgió en el cambio de milenio, las publicaciones que contienen temática

extensa aplicada en el campo del presente proyecto solamente empezaron a darse luego del año 2006. Sin embargo, es destacable el vacío que se presentó en dicha área durante los años 2007 a 2009. La figura 2-1 presenta la tendencia que tuvieron las publicaciones científicas que resultaron luego de aplicadas las restricciones de búsqueda.



Figura 2-1.: Producción literaria por años

Aunque la tendencia de publicaciones ha sido creciente, se han presentado ciertas fluctuaciones, situación que se evidencia durante el año 2014 dado que se presentó el mayor registro de publicación de documentos que encajaban en la ecuación de búsqueda. Lo siguen los años 2016, lo corrido del 2015 y el 2017, como periodos con la mayor cantidad de material incluido.

2.1.2. Origen de las publicaciones

Como se puede ver en la figura 2-2, China es el país con mayor cantidad de documentos publicados en el corpus seleccionado. Estados Unidos, Australia, Francia, Italia también han realizado un número importante de contribuciones. Preocupa que entre los 10 principales países a nivel de producción literaria en estas áreas no aparece ninguno perteneciente a la región.

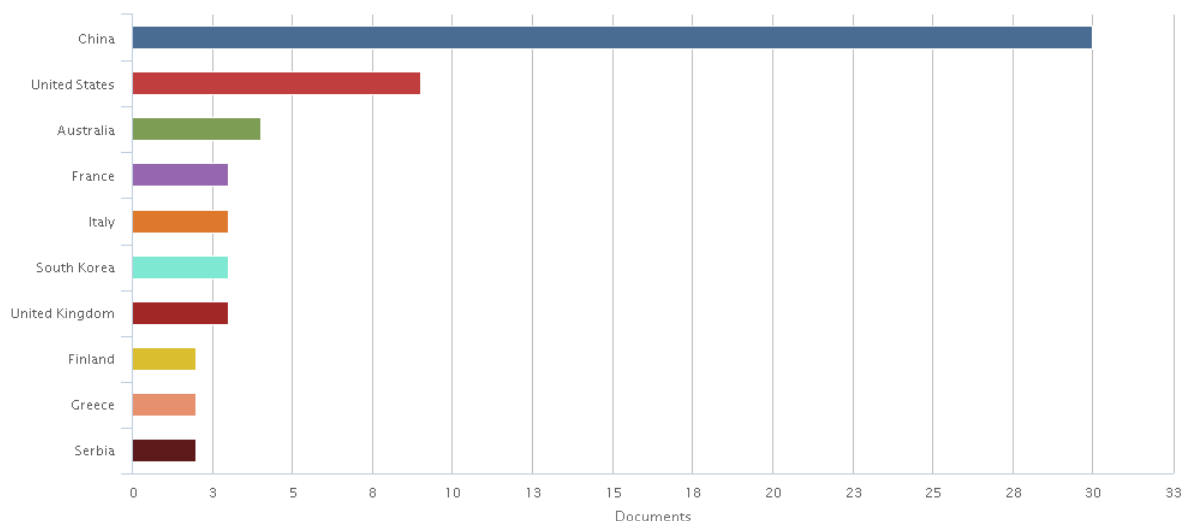


Figura 2-2.: Producción literaria por países

2.1.3. Autores

En cuanto al análisis de autores, en primer lugar, se llevó a cabo un conteo del número de documentos presentados por cada autor. Es así como se evidenció que Zhang, Y. Zheng, L., Li, J., Li, Z., Liu, Y., y Yan, B. han generado contribuciones importantes en el referido campo. Considerar este resultado fue importante a la hora de evaluar la propuesta de solución tecnológica y desarrollo del presente proyecto.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de coautoría con el fin de conocer la presencia de algunas redes de investigación, se establecieron como criterio que los autores deberían tener al menos cuatro documentos publicados dentro del corpus (Ver figura 2-3).

2.1.4. Clústers o tendencias literarias

Con el fin de identificar la dirección, o el enfoque que se le ha dado a la literatura perteneciente al corpus seleccionado, se llevó a cabo un análisis de coocurrencia de palabras claves dentro del mismo. A través del uso de la herramienta VosViewer, fue posible identificar ciertas tendencias en el material recolectado. La figura 2-4 detalla dicha evaluación de coocurrencia de palabras con un componente de temporalidad, presentando aquellas que aparecieron al menos quince veces dentro del corpus.

Luego de llevar a cabo el procesamiento de datos, y de presentar las figuras respectivas, es posible concluir que:

- Se percibe la fuerte influencia que ha tenido el desarrollo y aplicación de la identificación por radiofrecuencia en la consolidación del internet de las cosas como herramienta

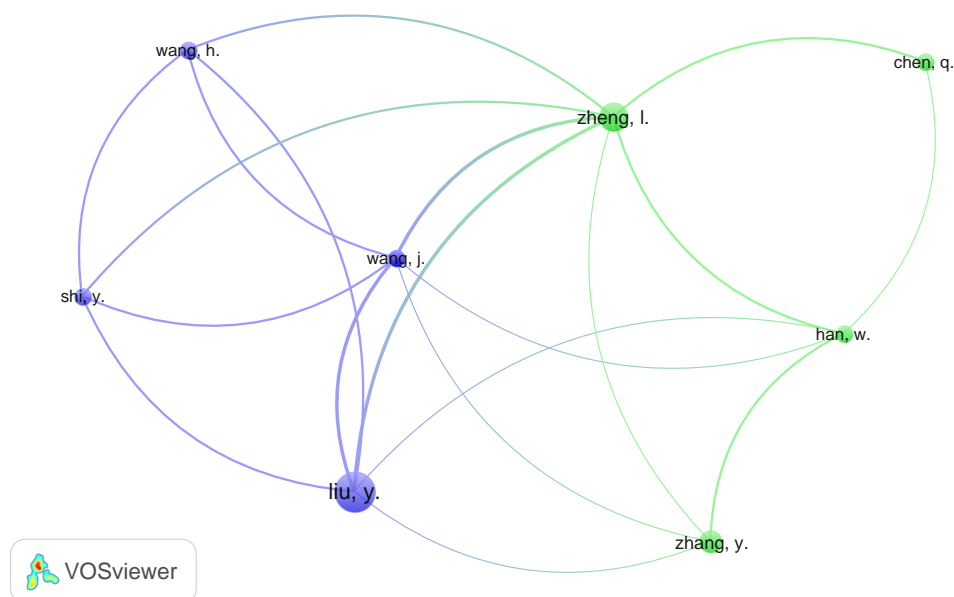


Figura 2-3.: Autores

a utilizar dentro de la trazabilidad en las cadenas de suministro. Este resultado se soportada con la revisión realizada posteriormente, en donde se concluye que el inicio del IoT está bastante marcado por el uso de esta tecnología de identificación.

- A pesar de que dentro de la búsqueda la palabra “Food”, o comida en español no fue incluida en la ecuación, se destaca una fuerte relación de los sistemas de trazabilidad en la cadena de suministro de este tipo de productos. Esto podría dar indicios que gran parte de las aplicaciones de la convergencia de estos tres temas tiene que ver con Cadena de Alimentos (Food Supply) y/o sanidad de los mismos (Food Safety)
- Se puede observar que ha habido una fuerte tendencia a que los productos agrícolas se relacionen e incluyan dentro de sus procesos herramientas tecnológicas en cuantos a sistemas de información (Information Services, o Information Management), las cuales irían orientadas a una mejor gestión de la Cadena de Suministro.
- Se evidencia el rol importante que juega internet al convertirse en el canal que permite la comunicación entre la cadena de suministro y los diferentes elementos que componen un sistema de trazabilidad basado en IoT. El componente de seguridad no es ajeno en una solución tecnológica por eso la aparición del término Criptografía.

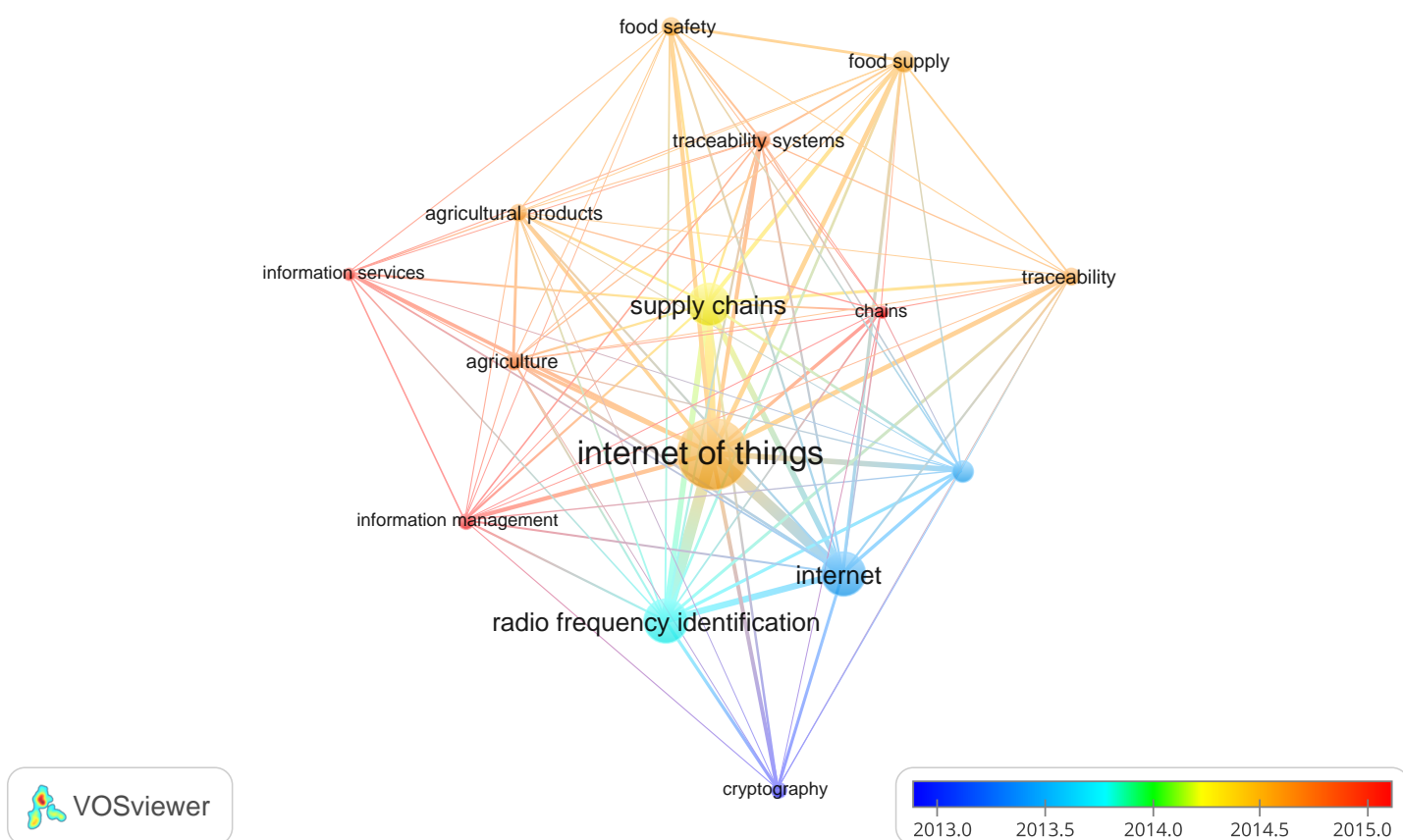


Figura 2-4.: Cluster de tendencias

2.2. Internet de las Cosas

IoT es el resultado de la convergencia y evolución de un conjunto de tecnologías como la computación ubíqua o pervasiva, protocolos de internet, tecnologías de sensado y sistemas embebidos entre otros, formando un ecosistema en donde el mundo real y el mundo digital están en continua interacción simbólica (Borgia [2014]); la cual no difiere mucho de la definición de Atzori et al. [2017] en la que define el IoT como “una infraestructura para facilitar el intercambio de información de los productos”, manifestando la amplia relación entre lo que es el manejo de la información y el uso que se le da a la misma.

Diferentes investigaciones proponen que este concepto se hizo popular a finales del pasado siglo a través de trabajos y publicaciones realizados por el Auto-ID Center del MIT, grupo de investigación ubicado dentro del campo de identificación por radiofrecuencia en red (Nukala et al. [2016]). Sin embargo, el término tuvo una primera presentación por Kevin Ashton quien utilizó principalmente sensores de radio frecuencia (RF) como base para la creación de un concepto el cual se describía como “agregar identificadores de RF a los objetos cotidianos”. A partir del trabajo de Ashton, el término ha sufrido varias transformaciones en las cuales se describe al IoT como una red de entidades interconectadas a través de un sensor (sin importar el tipo de sensor), el cual permite a estas entidades estar conectadas con el objetivo de ser localizadas, identificadas y operacionalizadas a entre sí (Ng y Wakenshaw [2017]).

Un estudio publicado por el IBSG (en inglés, Internet Business Solutions Group) de uno de los fabricantes líderes en productos de telecomunicaciones establece que IoT nació entre el año 2008 y 2009, momento en que el número de dispositivos conectados a internet era mayor que el de personas. Posteriormente, para el año 2010, la relación ya era de 1.84 dispositivos conectados a internet por cada persona, en comparación con datos del año 2003 donde dicho valor correspondía a 0.08. Un grupo de investigadores de China, con datos de routing de internet entre los años 2001 a 2006, encontraron datos similares a los pronosticados por la ley de Moore, mostrando que el número de dispositivos conectados a Internet se duplica cada 5.32 años (Pang et al. [2015]). Por lo tanto, se puede afirmar que este paradigma ha presentado un comportamiento creciente.

Se pronostica que las conexiones de IoT logren cifras de hasta 50 billones de objetos interconectados para el 2020, alcanzando así un promedio de 6.58 dispositivos conectados por persona (Evans [2011]). Considerando dicha facilidad de propagación e inclusión, sus ventajas se han venido aplicando en diversos sectores, dentro de los cuales es posible mencionar:

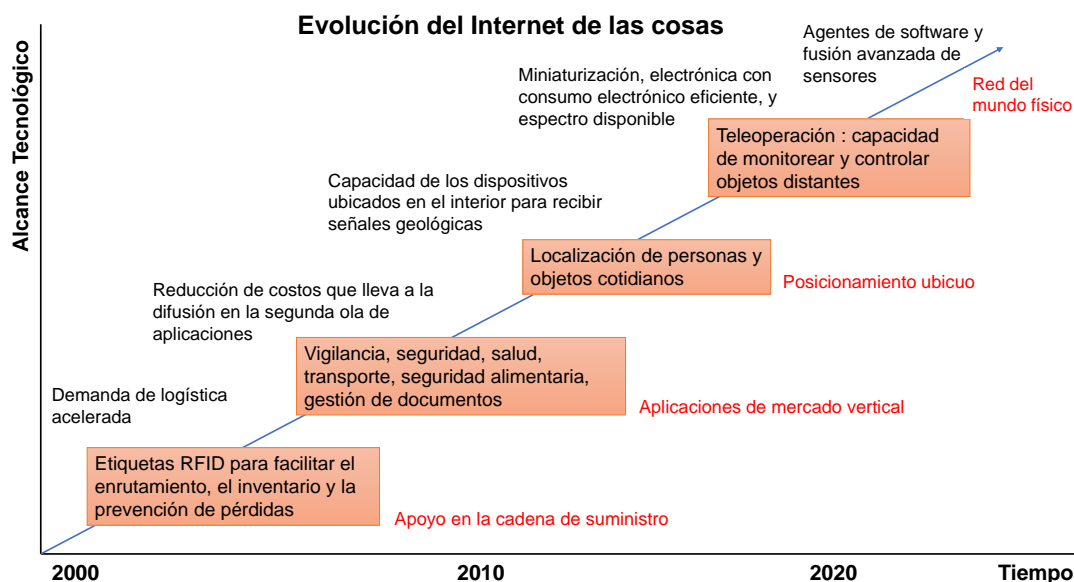


Figura 2-5.: Evolucion de IoT

Fuente: Tomado de SRI Consulting Business Intelligence

la manufactura y comercialización, la gestión energética y de sistemas agrícolas, el desarrollo de ciudades, transporte, dispositivos médicos y redes inteligentes, entre otros (Al-Fuqaha et al. [2015]).

La Figura 2-5, presenta las implicaciones tecnológicas y las aplicaciones en las que se ha visto involucrado el IoT luego del año 2000. Cabe destacar que, tal y como se puede observar en la imagen referenciada, los primeros usos generalizados de este paradigma se dieron en el ámbito de las cadenas de suministro. Para dicho caso, y específicamente en lo relacionado con las cadenas de suministro de alimentos (CSA), el IoT ha sido adoptado para que dentro de cada uno de los eslabones sea posible asegurar la sanidad e inocuidad de los productos al igual que su calidad (Nukala et al. [2016]). En consecuencia las aplicaciones de dicho paradigma se han visto direccionadas a la mejora de las condiciones de seguimiento y monitoreo de los bienes. Además, diversos autores afirman que la gran cantidad de datos recolectados a través de los sensores puede utilizarse en la construcción de una red de información para alimentar sistemas de soporte para la toma de decisiones (Nukala et al. [2016]).

Dentro de la literatura, se han realizado diversas recopilaciones y evaluaciones de los diferentes usos de este paradigma en la cadena de suministro de alimentos (Nukala et al. [2016], Liu et al. [2013], Hongling y Hang [2011]). En la tabla 2-1, se presenta un resumen de sus aplicaciones y funciones en cada una de las fases o eslabones propuestos previamente. Cabe destacar que los usos en materia de trazabilidad se extienden de manera transversal a lo

largo de toda la red (Hongling y Hang [2011]).

Según hallazgos plasmados en la sección Descripción logística incluida en el *Informe de caracterización y diagnóstico del sistema de operación logística* realizado por el Grupo de Investigación SEPRO de la Universidad Nacional, una de las principales problemáticas actuales de los productores y transportadores de productos frescos en Colombia, es la escasa capacidad para obtener datos de dichos alimentos, transmitirlos y tomar decisiones al respecto. Considerando la gran cantidad de mejoras que la implementación del IoT genera en aspectos relacionados (listadas en la tabla **2-1**), la adopción de dicho paradigma proveería los medios para establecer la trazabilidad necesaria, ya que a partir del análisis del estado de ciertas variables se podrían generar registros estructurados, no estructurados, semi-estructurados con información de valor.

Con respecto a las tecnologías implementadas dentro de los sistemas de trazabilidad en cadenas de suministro de alimentos, Lucia Rincón B et al. [2017] indican que el RFID es actualmente la tecnología más recomendada para la identificación de productos. Sin embargo, es preciso también citar la revisión realizada por Bosona y Gebresenbet [2013]. Dichos autores establecen que las herramientas concretas del IoT aplicadas en cadenas de estos tipos pueden clasificarse según la función a desempeñar. Así, se tienen redes que permiten:

- La identificación del producto: código de barras y RFID
- Medición de la calidad y medida de seguridad: dispositivos de envase inteligente para el alimento, sensores manométricos
- El monitoreo ambiental: a partir de sensores para medición del entorno
- Captura de datos Geo-Espaciales: GIS, RS, GPS
- Intercambio de datos: EDI, XML

2.2.1. Arquitecturas

Según el ITU (por sus siglas Unión Internacional de Telecomunicaciones) y IERC (European Research Cluster on the Internet of Things), la arquitectura básica de cualquier elemento que integre el IoT, está compuesta por las siguientes cinco capas: sensado o percepción, de dispositivo, de red, de apoyo al servicio y a la aplicación, y de seguridad Vermesan y Friess [2014]. En la Figura **2-6** se muestra esquemáticamente la relación de dichas capas.

En cuanto a las arquitecturas utilizadas en el contexto específico del presente proyecto, referente a Cadena de Suministro de Alimentos, Liu et al. [2013] proponen que para cualquier aplicación de negocios relacionada con el manejo de alimentos, es necesario que dichas capas al menos incluyan los siguientes aspectos:

Tabla 2-1.: Usos de IoT en la CSA**Fuente:** Tomado de SRI Consulting Business Intelligence

ESLABÓN DE LA CSAu	APLICACIONES Y USOS DEL IoT
Producción	<ul style="list-style-type: none"> • En lo relacionado con el incremento de la productividad y el manejo de ganado • Para el conocimiento y control del comportamiento animal • En la implementación de la agricultura de precisión, con el fin de desarrollar cultivos inteligentes (Métodos automáticos de irrigación y monitoreo, selección de equipo y factores ambientales) • En la búsqueda de la mejora en el consumo de recursos (riegos, electricidad, alimentos) • Para la predicción del rendimiento de los cultivos, de enfermedades y plagas.
Procesamiento	<ul style="list-style-type: none"> • En el seguimiento de materias primas, producto en proceso y terminado • En la emisión de órdenes de reabastecimiento y compra
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Para que todos los actores estén en capacidad de conocer la localización y tiempo de llegada de los productos • En el desarrollo de sistemas de distribución inteligentes • Para el monitoreo del entorno y de la integridad del producto en tiempo real
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • En la planeación de embalaje y almacenamiento, a través de la mejora y rapidez del conocimiento en tiempo real del producto entrante, saliente y en inventario • Dentro del mejoramiento general en áreas como servicio al cliente, rotación del inventario, planeación y reportes, selección de rutas de distribución y uso de energía. • Para el ahorro de mano de obra y espacio utilizados • Para la reducción de pérdidas y errores
Mayorista y Minorista	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de la experiencia del cliente • Mejora de la eficiencia energética y del uso de mano de obra • En el rastreo y predicción de la afluencia de clientes, para determinar el nivel de ventas y posibilidades de descuentos y programas en tiempo real. • Para el mantenimiento de producto en estanterías. • En la selección del precio de manera dinámica y en tiempo real (Según características del producto y del mercado)

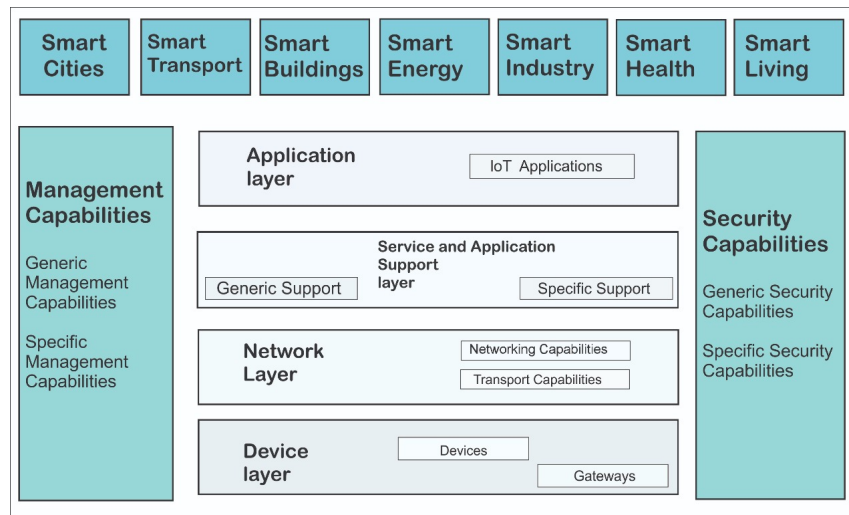


Figura 2-6.: Arquitectura Básica para IoT

Fuente: Tomado de Vermesan y Friess [2014]

- La capa de percepción: permitirá la lectura y almacenamiento inmediato de los datos dinámicos relacionados con los productos en cada uno de los eslabones, desde los productores primarios hasta el consumidor final.
- La capa de transporte o de red: mantendrá los datos en la plataforma de información de la CSA a través de la red. Por lo tanto, tiene como función principal transmitir una cantidad masiva de datos
- La capa de aplicación: se puede entender como la aplicación concreta de todos los tipos de modelo de negocio a el IoT. Dentro de dichos “modelos” se pueden encontrar a las plataformas de información relacionada con la seguridad de los alimentos, con la cadena de suministro de los productos, y con software de otros sistemas operativos

Esto concuerda con lo señalado por otros autores como Pang et al. [2015], quienes también han sugerido la utilización de una arquitectura de tres capas para el apoyo en actividades de gestión de la cadena de suministro basada en IoT. Dicha división permite a su vez una segmentación a nivel de procesos (ver Figura 2-7). De igual manera, Al-Fuqaha et al. [2015] mencionan algunas otras arquitecturas emergentes, en donde se pueden apreciar las capas de percepción, redes y aplicación de la compuesta por tres capas.

En los últimos años, la integración de las arquitecturas de IoT ha avanzado en el desarrollo de sistemas inteligentes de intercambio de información en la nube (Nukala et al. [2016]). El concepto de computación en la nube “cloud computing” es otro componente esencial para almacenar los datos de detección actuando como una interfaz que permite realizar tareas computacionales y analíticas en los datos recopilados y permite el acceso centralizado a los

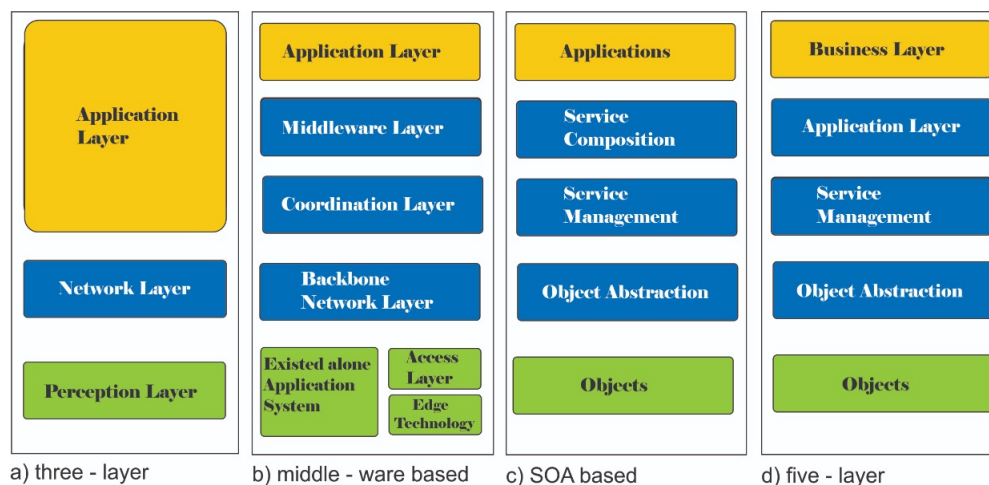


Figura 2-7.: Arquitecturas IoT

Fuente: Tomado de Al-Fuqaha et al. [2015]

servicios generados (Tang et al. [2016]). Finalmente, la generación de conocimiento procesable a partir de grandes conjuntos de datos es posible gracias al análisis de datos que implica modelos de predicción basados en el uso de algoritmos de aprendizaje que pueden habilitar las capacidades de toma de decisiones.

Algunos estudios realizados mencionan las ventajas de los ahorros en costos importantes de inversión en Infraestructura TI cuando se adquiere Infraestructura como Servicio dentro del modelo Cloud. Se menciona también la importancia que para la asociación de productores de fresa no es conveniente que involucre en administración de infraestructura ni aplicaciones delegando esto a terceros como modelo de negocio three-party. Existen varios modelos de sistemas de trazabilidad propuestos que hacen uso de nubes públicas, privadas e híbridas, un ejemplo es el modelo RECO-ADS (por sus siglas RESTful Economic-Aggregating Discovery Service) (Satit y Somjit [2017]).

Es claro que no existe un patrón de diseño estándar o generalizado para la selección e implementación de arquitecturas IoT dentro de las CSA, tal y como se evidenció dentro de la revisión de literatura llevada a cabo. Por ejemplo, Zhao et al. [2015] introdujeron una nueva arquitectura capaz de rastrear y seguir los productos agrícolas desde el campo a lo largo de toda la cadena de suministro y en los entornos de procesamiento de alimento. Por su parte, Xu et al. [2013] plantearon una arquitectura orientada al servicio y a la investigación de los problemas de desempeño general de la CSA, para lo cual probaron resultados especialmente en las operaciones de respuesta de emergencia. Por último, Vargheese y Dahir [2014] diseñaron un modelo que permitía detectar cuándo se agotaban los productos en los estantes; el cual, además de notificar sobre problemas de agotamiento de existencias, proporcionaba

información valiosa para otros procesos de planificación, como la previsión de demanda y comprensión del comportamiento del comprador.

Middleware para arquitecturas IoT

Teniendo en cuenta el carácter distribuido de las arquitecturas IoT a nivel de sistemas de comunicaciones distribuidas, John y Liu [2017] mencionan las ventajas de utilizar brokers de mensajería para aplicaciones IoT entre las que se destacan las siguientes:

- Facilitar la construcción de topologías descentralizadas
- Aumento de la alta disponibilidad
- Tolerancia a fallos
- Tiempo real

Los autores también mencionan la ventaja al implementar brokers de mensajería dado que permite desacoplar componentes a nivel de arquitectura de software, también habilita la comunicación asíncrona entre los componentes mediante la utilización del paradigma publicación/suscripción. Lo anterior se ve reflejado en la figura **2-7** en donde el modelo de arquitectura **b** muestra un grado de modularidad a nivel de componentes mayor a la arquitectura estándar o de tres capas. Estos servicios los proveen algunas empresas a nivel de infraestructura como servicio o por sus siglas en inglés (Infraestructure as a Service) en dentro del modelo de Cloud Computing. Algunos estándares que han adoptado el paradigma publicación/suscripción y por ende el middleware para arquitecturas IoT son Apache Kafka, AMQP, ActiveMQ.

2.2.2. Protocolos

Los protocolos representan los canales mediante los cuales las cosas se pueden comunicar para permitir la conexión de dispositivos heterogéneos, logrando así la creación de servicios. El propósito de los mismos es proveer estándares para facilitar y simplificar la integración entre las aplicaciones, los servicios y demás componentes que hagan parte de una solución tecnológica. IoT no es la excepción; organizaciones como la W3C, IETF, EPCGlobal, IEEE y la ETSI, entre otras, han propendido por esto Al-Fuqaha et al. [2015]. Un factor que es necesario considerar también al momento de seleccionar los protocolos, radica en el hecho que la comunicación entre los nodos de la red y los periféricos y/o sensores, se requieren protocolos ligeros y eficientes en cuanto al uso de recursos como batería, CPU, ancho de banda entre otros.

Protocolos de aplicación		DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-NS	XMPP	HTTP REST
Descubrimiento de servicios		mDNS			DNS-SD			
Protocolos de Infraestructura	Ruteo	RPL						
	Capa de red	6LoWPAN		IPv4/IPv6				
	Capa de enlace	IEEE 802.15.4						
	Capa física	LTE-A	EPC global	IEEE802.15.4		Z-Wave		

Figura 2-8.: Protocolos de comunicación
Fuente: Adaptado de Al-Fuqaha et al. [2015]

Tabla 2-2.: Cuadro comparativo de protocolos

Fuente: Adaptado de Karagiannis et al. [2015], Olubusayo Richard Adeyemo
 Supervised by Paul Lin [2016], Estep [s.f.]

PROTOCOLO	TARNSPORTE	QoS	Arquitectura	Seguridad	2G,3G,4G(1000\$)	Recursos de computo	LowPower and Lossy (1000\$)
CoAp	UDP	SI	Req/Resp	DTLS	Excelente	10Ks/RAM Flash	Excelente
MQTT	TCP	SI	Req/Resp	TLS/SSL	Excelente	10Ks/RAM Flash	Bueno
XMPP	TCP	NO	Req/Resp, Pub/Sub	TLS/SSL	Excelente	10Ks/RAM Flash	Pobre
REST	HTTP	NO	Req/Resp	HTTPS	Excelente	10Ks/RAM Flash	Pobre
WebSocket	TCP	NO	Pub/Sub	HTTP			

Producto de la revisión bibliográfica se identificaron algunas tecnologías candidatas para ser implementadas en el desarrollo del presente proyecto. En la figura 2-8 se presenta un resumen de los protocolos más utilizados por IoT.

Identificación de protocolos

Los estudios de Karagiannis et al. [2015] muestran un diagnóstico y evaluación de los protocolos más utilizados en IoT, junto con sus principales diferencias (ver tabla 2-2), puntualmente de la capa de aplicación del modelo de referencia OSI. Esta evaluación fue motivada por “el hecho de que una arquitectura unificada de IoT no ha sido aun claramente definida y no hay acuerdo común en la definición de protocolos y estándares para todas las partes del IoT”. Con el anterior estudio de protocolos, se puede evaluar cuáles son los adecuados para esta implementación, según el resultado del levantamiento de requerimientos.

- *REST (Representational State Transfer)* es una arquitectura de software creado para el diseño y desarrollo de aplicaciones en entornos web.

- *WebSocket* es un protocolo de nivel de capa de aplicación para el modelo de referencia TCP/IP diseñado para entornos web. WebSocket incorpora mejoras para http como la comunicación bidireccional o full-duplex. Es un protocolo diseñado para la comunicación web en tiempo real de una manera eficiente, puede ser utilizado en conjunción con HTTP (Estep [s.f.]).

Las principales ventajas de los anteriores protocolos es que están contruidos para entornos web, son transparentes con servidores firewall y proxys desplegados entre cliente y servidor (Gula y Žáková [2017]).

2.2.3. Computación

Tal como lo menciona Al-Fuqaha et al. [2015], la capacidad de cómputo representa el cerebro de las cosas, al proveer capacidad de procesamiento y almacenamiento. A continuación, se listan algunas de las alternativas comerciales más populares y que son comúnmente utilizados para desarrollos de productos IoT. La capacidad de cómputo es importante en entornos donde los canales de acceso a la nube son deficientes, debido a la falta de cobertura de redes de datos, también permite la transferencia rápida de flujos de datos binarios con baja sobre carga sobre la red.

Hardware

- Raspberry PI
- BeagleBone
- Arduino
- Intel Galileo
- UDOO
- FriendlyARM

Software, S.O.

- Raspbian
- Contiki
- TinyOS
- LiteOS
- Riot OS
- Android

2.2.4. Redes de datos

La consolidación de redes de telecomunicaciones, ha permitido el acceso a zonas cada vez más remotas y con mejores prestaciones impulsados por el despliegue de nuevos servicios que requieren para su funcionamiento, infraestructuras computacionales y de telecomunicaciones más robustas, eficientes, adaptables y de mayor capacidad. Los volúmenes de datos que transitan por las redes de datos y que se almacenen en datacenters están en constante aumento. Todos estos componentes permiten la habilitación de arquitecturas que soporten la implementación de diversos modelos de Sistemas cada vez de mayor complejidad.

L3GPP LTE es probablemente la tecnología para el tráfico de datos más prometedora para el IoT (Jover y Murynets [2015]), ya que esta se ajusta a requerimientos como low-rate para el streaming de datos a partir de dispositivos durante largos periodos de tiempo haciendo uso de bajos recursos de procesamiento, almacenamiento y consumo de energía. Con el fin de lograr esto LTE incorpora mecanismos que permiten a los dispositivos apagar sus interfaces de red inalámbricas en momentos que no exista tráfico tanto en recepción o transmisión (DRX/DTX) (Liang et al. [2013]).

Teniendo en cuenta uno de las características de cualquier sistema de trazabilidad, se propende por entregar datos en tiempo real de las variables de interés para un actor determinado. Dado lo anterior, se requiere que las redes de datos que den soporte al IoT proporcionen QoS altos, latencia tolerable, baja pérdida de paquetes, alta velocidad y soporte para diferentes tipos de tráfico (Ratasuk et al. [2015], Liang et al. [2013]). Por otro, lado también se debe tener en cuenta las características propias de los dispositivos IoT principalmente en cuando a disponibilidad de recursos, esto representa un gran reto teniendo en cuanta se debe reportar datos continuamente haciendo uso eficiente de los recursos principalmente el de energía (Liang et al. [2013], Rico-Alvarino et al. [2016]).

La mayoría de los servicios IoT en el mundo corren sobre redes 2G y 3G (Jover y Murynets [2015]). Jover y Murynets [2015] menciona el enfoque orientado a comunicaciones originadas por humanos, con el que fueron desarrollados los protocolos de comunicación, para las redes 2G y 3G, sin embargo con la aparición de las comunicaciones M2M estos protocolos no son los más adecuados; con el pronóstico de despliegue de millones de dispositivos M2M existe la preocupación que núcleo de la capa de señalización y control se pueda ver sobrecargada por el aumento de tráfico en las redes de datos. Para dar solución a esta problemática Jover y Murynets [2015] propone el uso de protocolos de comunicación sin conexión sobre LTE con el propósito de ahorrar intercambios en señalización, la mejora se ve representada en que su implementación no requiere de modificación alguna sobre los estándares utilizados actualmente por LTE.

Para el cambio de enlaces de redes de datos móviles a redes inalámbricas de área local como WiFi, Chan y Ramjee [2005] realizaron un estudio sobre las pérdidas percibidas por TCP que da como resultado un bajo rendimiento en el tráfico de datos para lo cual los diseñadores de enlaces inalámbricos 3G, han implementado sistemas que poseen mecanismos de retransmisión local. Para mejor el rendimiento de las redes también han implementado programas inteligentes para la verificación de estado de los canales.

Basados en lo anterior, se identifica la necesidad de realizar una caracterización a nivel de infraestructura de telecomunicaciones en redes 2G, 3G y LTE en el polígono de estudio determinado por los objetivos específicos del presente trabajo de investigación, teniendo en cuenta el carácter móvil de la solución propuesta. Costantino et al. [2012] mencionan la pertinencia de LTE como alternativa de conexión a internet para los dispositivos de borde o Edge Devices, ver sección 5.5.2, que no tengan acceso a internet por medio de una conexión cableada, lo anterior debido a la alta eficiencia espectral de LTE, ancho de banda y cobertura.

2.2.5. Sensórica

El propósito de un sistema de trazabilidad es poder realizar seguimiento o tracking y medir las variaciones en sus propiedades físicas como temperatura, humedad, presión y el sometimiento a fuerzas externas productos de la aceleración y la topografía del terreno que atraviesa la vía recorrida en tiempo real (Bollen et al. [2007]).

En el mercado existe una amplia gama de sensores, disponibles para medir las distintas magnitudes físicas; es necesario realizar la clasificación de tipos de sensores con el fin de realizar una elección adecuada para el prototipo de sistema de trazabilidad. Bröring et al. [2011] menciona que “un sensor se define desde el punto de vista de la ingeniería como un dispositivo que convierte un parámetro físico, químico o biológico en una señal eléctrica”. A partir de los parámetros mencionados se pueden obtener principalmente seis tipos de señales:

- | | | |
|-------------|-----------|-------------|
| ▪ Mecánica | ▪ Óptica | ▪ Eléctrica |
| ▪ Magnética | ▪ Térmica | ▪ Química |

En cuanto al aporte de energía, los sensores se clasifican en activos o pasivos. En los activos la señal de salida procede de una fuente de alimentación externa; mientras que en los pasivos la energía de salida es suministrada por la entrada (Pallas [2005]). En la mayoría de los casos los sensores activos tienen una mayor cantidad de pines ya que los conectores de alimentación suelen ser diferentes a los empleados por la señal de datos, los cuales tienen la ventaja que, realizando variaciones sobre en la diferencia de potencial aplicada se puede realizar ajustes en sus parámetros de sensibilidad. Los sensores también se pueden clasificar según la señal de salida, la cual puede ser digital o analógica. Para los sensores analógicos la señal de salida varía en forma continua, mientras que en los digitales se obtiene una señal discretizada en el dominio del tiempo (Pallas [2005]). La principal ventaja de los sensores digitales es su bajo costo, mayor fidelidad y fiabilidad y en algunos casos exactitud en comparación con los analógicos, su principal limitante radica en que no existen modelos digitales para las magnitudes de mayor interés (Pallas [2005]). El resumen de lo anterior se puede apreciar en la tabla **2-3**.

Tabla 2-3.: Tipos de sensores
Fuente: Adaptado de Pallas [2005]

CRITERIO	CLASES	EJEMPLOS
Aporte de energía	Activos o pasivos	Termistor
Señal de salida	Analógicos, Digitales	PotenciometroCodificador de posición
Modo de operación	De reflexión	Acelerómetro de delexión

Identificación

Según Satit y Somjit [2017], los sistemas de trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro, están conformados por Servicios de Información de Código Electrónico de Producto (EPCIS por sus siglas de Electronic Product Code Information Services), el cual ya es reconocido a nivel global como un estándar para todos los operadores logísticos que hacen captura y acceso digital de los datos de trazabilidad entre empresas. Debido a estas necesidades, se identifica el uso de código de barras, como una de las tecnologías más usada para la adquisición de datos en el manejo de productos dentro del proceso logístico, aunque presenta algunas limitaciones que, por su misma naturaleza, hace que se convierta en un cuello de botella para el flujo normal de los datos dentro de la cadena de suministro, entre las cuales se pueden resaltar las siguiente:

- No distingue entre cajas que contienen el mismo producto.
- Requieren línea de visión directa para la captura de datos.
- En la mayoría de casos requieren de un operario para su funcionamiento.

Teniendo en cuenta las anteriores limitantes, se consideran otras alternativas tecnológicas acudiendo a la información suministrada por organizaciones como: la Uniform Code Council, EAN International, GS1 entre otras, las cuales proponen el uso de tecnología RFID o cualquiera de sus variantes parcial o totalmente, dentro la cadena de abastecimiento sin eliminar por completo el uso de códigos de barras. Narsimhalu et al. [2015] mencionan la importancia de la coordinación entre los actores de la cadena de suministro a través de caso de estudio para productos lácteos, además de la importancia de asociar códigos de identificación por lotes a partir del centro de distribución. Por otro lado, Orjuela-Castro et al. [2017] realizan un estudio en donde se muestra la importancia de realizar el marcado de los empaques en la finca o lugar de la cosecha con el fin de garantizar la trazabilidad extremo a extremo disminuyendo la posibilidad de pérdida del rastro del producto.

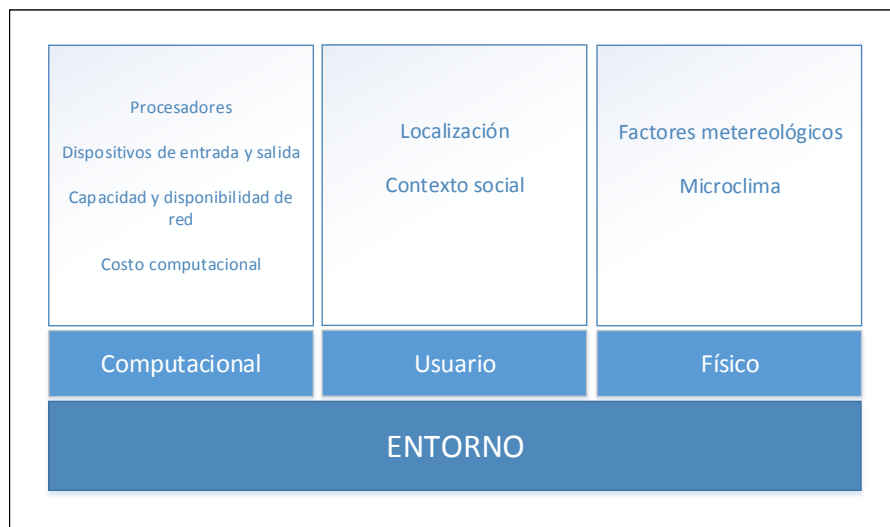


Figura 2-9.: Sensibilidad al Contexto

2.2.6. Desarrollo de aplicaciones

En general una aplicación desarrollada sobre IoT debe ser sensible al contexto. Según Schilit y Themier debe responder a aspectos como la localización, la identidad de los usuarios y la disponibilidad de recursos. Otros autores como Brown agregan factores ambientales, estados emocionales de los usuarios, tiempo entre otros aspectos. En la figura 2-9 se aprecia los ámbitos a los que el dispositivo deberá ser sensible. Estas aplicaciones comúnmente proveen servicios basados en localización los cuales son cada vez más populares. Los dispositivos inteligentes que integran receptor GPS son muy utilizados para el rastreo de vehículos, monitoreo de personas entre otros usos. Con el propósito de incorporar un mayor número de funcionalidades a partir del análisis de datos recopilados en tiempo real, resulta necesario la implementación de servidores de back-end (Tang et al. [2016]).

El concepto de IoT tiene, entre su amplia gama de aplicaciones, un efecto directo en el proceso de transporte y “liquification” de información es fundamental para mejorar la densidad de los recursos de información, “liquification” refiriéndose a la “separación de información de los objetos físicos, permitiendo a la información ser fácilmente transportada y procesada para ser presentada en diferentes formas” Michel et al. [2008]. Del mismo modo, los objetos pueden ser digitalizados y analizados en sus datos históricos como propietarios, origen, propiedades físicas y ambientales entre otros (Welbourne et al. [2009]), garantizando un concepto altamente relacionado llamado “trazabilidad”.

2.3. Trazabilidad

Los productos alimenticios perecederos están en riesgo de sufrir daños diversos a lo largo del proceso logístico, los actores deben controlar y supervisar las condiciones de los alimentos y garantizar la calidad e inocuidad (Jedermann et al. [2009]). Karlsen et al. [2013] reflexionan sobre ¿Por qué se tienen diferentes puntos de vista sobre las definiciones y los principios de trazabilidad?; a lo cual responden con dos razonamientos: primero, la trazabilidad es un campo teórico relativamente nuevo que surgió debido a diferentes contextos y solo cuando fue vista con una necesidad urgente y apremiante para mitigar riesgos, fue cuando los autores empezaron a generar consensos. Segundo, la trazabilidad se ha desarrollado en diferentes direcciones y campos científicos, lo cual produjo el desarrollo de conceptos teóricos de acuerdo a las características y variables particulares.

Principalmente, el seguimiento y el monitoreo (Tracking & Tracing) han sido el área principal de enfoque para las soluciones de IoT en la CSA. El envío constante de datos originados a partir de las mediciones de los sensores sin intervención humana, cada vez gana mayor espacio en las tecnologías e infraestructuras de red (Ciuffoletti [2017]) lo que representa una clara ventaja para cualquier sistema de trazabilidad basada en IoT. Además, la esencia de IoT está inspirada en modelos basados en datos que pueden proporcionar valores comerciales. “Los enormes datos generados a partir de los sensores pueden utilizarse en la construcción de una red de información, para la toma de decisiones y una gestión eficaz de los productos en toda la CSA” (David et al. [2015]). Finalmente, la localización de los objetos, su posición y su cambio a lo largo de las etapas de su distribución y consumo, volviendo al concepto de trazabilidad de los productos no solo desde su compra sino a través de su cadena de suministro (Badia-Melis et al. [2015]).

La trazabilidad puede ser analizada desde diferentes perspectivas, una de las áreas de conocimiento que ha analizado más la trazabilidad ha sido la de la logística y la administración de cadenas de suministro. Esto debido a la gran importancia que tiene el seguimiento y rastreo de los procesos y productos a lo largo de todas las etapas de una cadena de suministros, para Lindvall y Sandahl [1996] la trazabilidad debía ser analizada en dos frentes en las cadenas de suministro, la trazabilidad horizontal referida a la habilidad de identificar y seguir elementos entre los elementos de diferentes modelos, la vertical es la habilidad de identificar y seguir elementos dentro de un mismo modelo. Posteriormente Moe [1998] clasifica a la trazabilidad en procesos internos y externos, donde el primero es el seguimiento de elementos a través de uno de los procesos que tiene la cadena productiva del producto, la segunda categoría es el seguimiento a través de los diferentes procesos presentes en la cadena productiva.

2.3.1. Definición

No existe consenso sobre la definición de trazabilidad, autores como Onori et al. [2013], Smith et al. [2005], Karlsen et al. [2013], Aung y Chang [2014], Bosona y Gebresenbet [2013] y Dabbene et al. [2014] manifiestan que existen diferentes definiciones de trazabilidad y que esto no permite la generación de un framework para su implementación. Los estudios realizados por Orjuela-Castro et al. [2017] en donde también se menciona que la definición de trazabilidad más aceptada es la que establecen la ISO y el reglamento 178/2002 de la Unión Europea la cual definen como “la capacidad de rastrear y seguir un alimento, un pienso, un animal o una sustancia destinada a ser incorporada en un alimento en todas las etapas de producción, transformación y distribución”.

2.3.2. Atributos de un Sistema de Trazabilidad

Lucia Rincón B et al. [2017] sugieren que un sistema de trazabilidad debe tener las siguientes características y propiedades:

- **Amplitud:** Cantidad de datos o atributos recopilados conectados a una unidad de rastreo asociada a un identificador único.
- **Profundidad:** definida como la información que se puede transferir entre cada eslabón de la cadena.
- **Precisión:** indica el grado de seguridad que le permite al sistema identificar un movimiento o característica particular de un producto.
- **Acceso:** velocidad con que la información puede ser comunicada en la cadena de suministro.
- **Fiabilidad de la identificación de la unidad de trazado:** identificación univoca de la unidad trazable.

De igual manera Lucia Rincón B et al. [2017] identifican algunas de las propiedades con las que un sistema de trazabilidad debe contar con el propósito de integrar las características mencionadas anteriormente, estas son:

- Sistema de Información centralizado.
- Interfaces de entrada y salida como medios para el acceso y captura a la información.
- Mecanismos para asociar productos y procesos a los propietarios.
- Asignar identificadores únicos a las unidades trazables mediante codificación estandarizada (GS1).

Variables ambientales

Nechifor et al. [2014] desarrollan un marco para el apoyo al diseño de aplicaciones para empresas de logística que transportan alimentos perecederos y un sistema de monitoreo de la cadena de frío. Contiene dispositivos que permiten el monitoreo de temperaturas en los empaques y genera alertas en tiempo real, alerta temprana cuando el producto no se almacena de acuerdo con los criterios de aceptación. En este mismo sentido, Dittmer et al. [2012] proponen un modelo de referencia logística basado en el Internet de las cosas, para los productos perecederos y evalúan como el integrar un contenedor inteligente, para registros de temperatura y humedad, reducirá los residuos de alimentos perecederos. Lo anterior mediante el uso de tecnologías como los WSN, los cuales registran las condiciones de los productos mediante redes de sensores que permiten la transmisión de datos, utilizando una amplia gama de estándares inalámbricos con capacidades de auto conexión en red, bajo consumo de energía y que requieren una intervención humana mínima.

2.4. Proceso logístico dentro de la CSA

Dentro de las funciones propias del área de logística, el transporte, almacenamiento, procesamiento de pedidos, la administración de inventario y localización de instalaciones han sido listadas como las más importantes e imprescindibles para la cadena de suministro de cualquier producto (Larson y Halldorsson [2004]). Sin embargo, es preciso aclarar que el marco dentro del cual se halla el presente proyecto, corresponde netamente a la etapa de aprovisionamiento y distribución. Cabe destacar que el producto, la fresa, está siendo sometido a condiciones de almacenamiento de manera simultánea a su proceso de transporte, pues dentro del modo implementado se deben controlar ciertas condiciones para garantizar calidad del producto final. El estudio y análisis de dichos procesos logísticos dentro de la cadena de suministro de cualquier bien puede ser abordado desde una perspectiva general. Sin embargo, para el caso del presente proyecto, en el cual se aborda el problema de una CSA, es necesario asumir un enfoque particular debido a las condiciones de perecibilidad, sensibilidad al ambiente, estacionalidad en términos de demanda y oferta, y dependencia de las condiciones naturales de producción (Shukla y Jharkharia [2013]).

A pesar de que cada uno de los procesos o actividades logísticas puede ser analizado por separado, hay dos razones principales por las que un enfoque de red es relevante para estudiar las CSA. En primer lugar, la calidad de los productos depende de la forma en la que todos los actores los manejan. Por otro lado, cuando se presentan fuertes exigencias en términos de servicio y calidad al sector minorista, se genera un impacto transversal a toda la cadena de suministro. Esto quiere decir que, debido a la perecibilidad y a las altas demandas de calidad y rastreabilidad, los actores en la cadena de suministro de alimentos dependen en gran medida unos de otros (Fredriksson y Liljestrand [2015]).

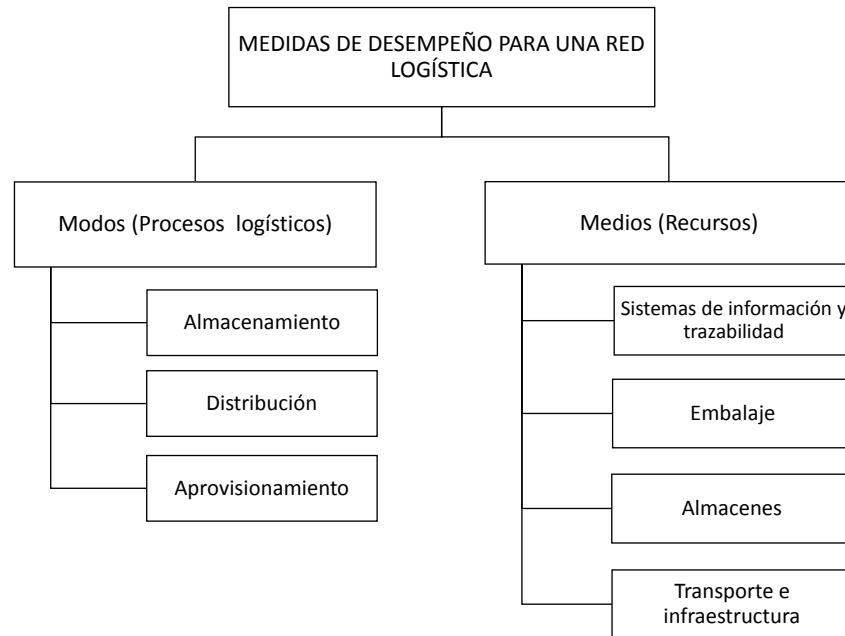


Figura 2-10.: Medidas de desempeño para una red logística

Fuente: Adaptado de Ruiz Moreno et al. [2015]

En la figura **2-10** se puede apreciar la relación entre los diferentes procesos logísticos de una red logística y los medios o recursos que se requieren para que se puedan realizar, encontrando el componente de sistemas de información y trazabilidad como uno de los más importante. Entendido a los modos como la forma como se hacen las tareas y los medios como las herramientas (Ruiz Moreno et al. [2015]).

Siguiendo esta lógica del régimen particular, diversos autores han establecido que un factor imprescindible al momento de realizar el estudio de las CSA consiste en la determinación del régimen de temperatura del producto (Theodoras [2006]). En este sentido, las CSA pueden ser diferenciadas entre aquellas que hacen fluir productos refrigerados, congelados y a condiciones ambientales Beckeman y Skjöldebrand [2007]. Es claro que la fresa se ubica dentro de la última categoría, pues ésta agrupa vegetales que deben y/o pueden ser mantenidos a temperaturas de 15°C. Adicionalmente, a lo largo de la revisión realizada se pudo dar evidencia de que la trazabilidad y calidad del producto son temas destacados y estudiados dentro de la ejecución de todos los procesos y las relaciones entre cada uno de los actores. Por ejemplo,

Acoplamiento Ajustado	Envasado fresco	Procesados de marca
	Verduras de hoja verde	Productos alimenticios
Acoplamiento Débil	Mercados de agricultores	Tomates - Pimientos
	Leche cruda - queso	
	Cadena o red lineal	Cadena o red compleja

Zona evaluada				
Dificultad en la implementación de un sistema de trazabilidad	Relativamente baja dificultad	Mediana a alta dificultad	Baja a mediana dificultad	Alta dificultad

Figura 2-11.: Relación entre la estructura de la cadena de suministro y la implementación de sistemas de trazabilidad

Fuente: Adaptado de SKILTON y ROBINSON [2009]

SKILTON y ROBINSON [2009] realizaron un estudio para analizar las barreras de la implementación de un sistema de trazabilidad asociadas con diferentes tipos de estructuras de las cadenas de suministro de alimentos. Dentro de dicho análisis, los procesos logísticos llevados a cabo por cada uno de los diferentes actores resultaron determinantes para encontrar el nivel de dificultad asociado. La figura 2-11 se establece que en sistemas con un acoplamiento ajustado (cuando la relación y comunicación entre los diferentes eslabones es fuerte) y con una cadena relativamente lineal, llevar a cabo actividades de trazabilidad es menos tedioso que en otro tipo de sistemas. Dicho resultado está directamente relacionado con el concepto de procesos logísticos ya que, si solamente existiera una única entidad ejecutando labores de producción, transporte, almacenamiento, procesamiento de pedidos, y entrega al usuario final (o lo que es una red lineal), el manejo y procesamiento de la información sería menos exhaustivo (SKILTON y ROBINSON [2009]).

Teniendo en cuenta además que las cadenas de suministro de alimentos actuales están compuestas por sistemas largamente distribuidos geográficamente; y que pueden poseer procesos complejos y diversos (Pang et al. [2015]), la implementación de sistemas de trazabilidad dentro de las mismas es necesaria para garantizar la calidad e inocuidad de los productos. El papel de los sistemas de trazabilidad en los alimentos fue tratado por Hobbs [2004] el cual presenta una taxonomía de los sistemas de trazabilidad donde ilustra la naturaleza multidimensional de los problemas de información relacionados con la seguridad y la calidad de los alimentos, identifica tres funciones de los sistemas de trazabilidad:

- Sistemas reactivos ex post que permitan el rastreo de los productos afectados en caso de un problema de contaminación en algún punto de la cadena de suministro
- Sistemas de ex post que facilitan la asignación de la responsabilidad
- Sistemas de información que proporcionan a priori verificación de la calidad.

2.4.1. Algunas aplicaciones de TI dentro de los procesos

Realizando un análisis de las aplicaciones tecnológicas que no estuvieran relacionadas necesariamente con el área de trazabilidad, se encontró que O’Keeffe [2001] analiza el papel del comercio electrónico dentro de las CSA, así como el uso de EDI para la coordinación de la misma. Por otro lado, van der Vorst y Beulens [2002] definen y desarrollan una tipología de modelos de e-business. Por último, Sánchez Chiappe y Angel Herrero [1997] estudian el estado de la gestión de la CS en la industria alimentaria de Argentina.

3. Evaluación del estado tecnológico

Dentro de los objetivos para el desarrollo sostenible de la ONU para el año 2030, se encontró dentro de los numerales 9 - “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” y 17 - “Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible” la evidente necesidad de proveer el acceso a Internet asequible y universal para 2020 Bárcena et al. [2016]. Con el fin de obtener indicadores en cuanto al estado de accesibilidad a internet banda ancha siguiendo un contexto Internacional → Regional → Local.

Para tal fin se propone el uso de los resultados de los estudios realizados por el World Economic Forum obtenidos bajo la metodología ADI por las siglas (Affordability Drivers Index). Estos resultados constituyen insumo para la construcción de una línea base con el propósito de poder realizar una evaluación de los datos tomados dentro de los corredores viales de los clústers productores de fresa haciendo uso de la app OpenSignal ¹, esta herramienta es compatible con dispositivos Android e iOS. OpenSignal funciona bajo la filosofía colaborativa o crowdsourced lo que permite que las personas puedan subir los registros georreferenciados de las pruebas realizadas desde cada terminal; se opta por su implementación debido a la versatilidad, buena calificación por parte de la comunidad de usuarios, funcionalidad requerida en términos de georreferenciación de pruebas de calidad celular, volumen de registros de pruebas de calidad celular dentro del polígono de estudio y principalmente por los partners académicos que la han utilizado y mencionado en sus publicaciones como lo son:

- La revista Geophysical Research Letters en el que se demuestra como a partir de la temperatura de las baterías de los de los Smartphones se puede recuperar la temperatura del aire urbano aplicando modelos de transferencia de calor (Overeem, R. Robinson, et al. [2013]).
- Un artículo publicado por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América muestra como a partir del estudio de los enlaces de microondas utilizados por Smartphones, se puede hacer monitoreo en tiempo real de las lluvias (Overeem, Leijnse, y Uijlenhoet [2013]).
- El laboratorio de clima urbano de Birmingham muestra en un estudio como la utilización de datos provenientes como los datos de presión de los Smartphone junto

¹<https://opensignal.com/>



Figura 3-1.: Dominios de la arquitectura empresarial

Fuente: Tomado de Schekkerman [2008]

con observaciones climáticas convencionales conduce a mejores predicciones del clima (Mass y Madaus [2014]).

- En el campo de las telecomunicaciones el equipo de colaboradores de OpenSignal realizan la publicación de un artículo en la IEEE, donde se presenta un modelo para estudiar el rendimiento en cuanto a velocidad de descarga en redes LTE en donde identifican parámetros para un modelo lineal, e identifican aspectos como calidad e intensidad de la señal, factores temporales, operador de red e incluso el tipo de terminal (Cainey et al. [2014]).

Siguiendo un enfoque de arquitectura empresarial, en donde la arquitectura tecnológica representa el pilar sobre el que la arquitectura de sistemas, empresarial y de negocio se desarrollan (ver figura 3-1). Se resalta y justifica la importancia del desarrollo de la evaluación tecnológica en el desarrollo de cualquier ejercicio de Arquitectura Empresarial, teniendo en cuenta la delimitación en cuanto a aspectos tecnológicos y no de negocio en el que se encuentra este trabajo de investigación, pero que permitirá para trabajos futuros un desarrollo a nivel de negocio utilizando la solución tecnológica desarrollada.

Para Schekkerman [2008] la arquitectura tecnológica es el dominio de la arquitectura empresarial que define la infraestructura de *TI* y marco tecnológico para los sistemas y componentes que dan soporte a las soluciones del núcleo de negocios de la organización al igual que los mecanismos de recuperación de desastres, almacenamiento y procesamiento de datos, redes de datos entre otros aspectos (Darío Arango Serna et al. [2010]).

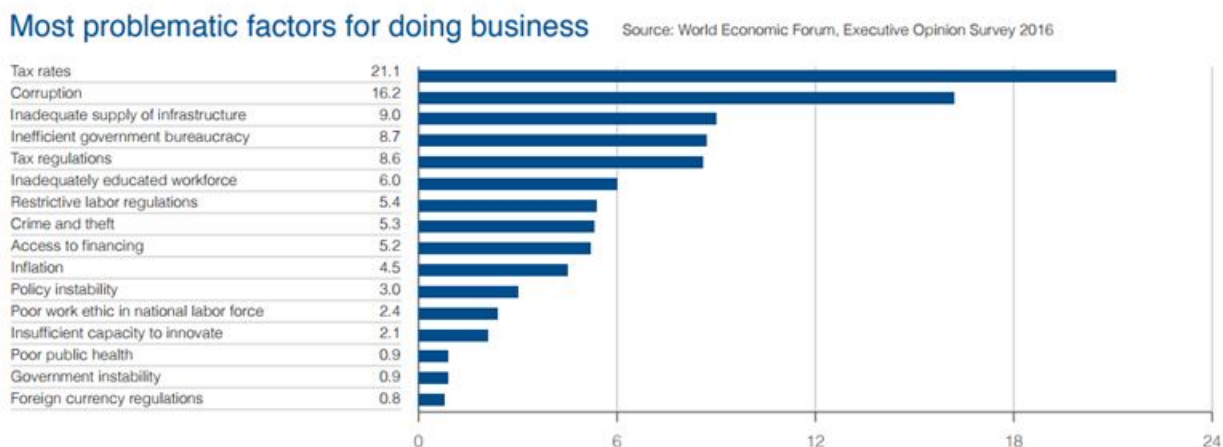


Figura 3-2.: Problemáticas mas relevantes para Doing Business en Colombia 2016 - 2017
Fuente: Tomado de Klaus Schwab [2016]

3.1. Estado tecnológico de la red actual de suministro de la fresa

Dada la importancia de conocer bajo que plataformas computacionales se encuentra los principales productores de fresa en los municipios de interés, se procedió a realizar una encuesta en los puntos de calor indicados en la figura 4-4, la cual permitió brindar mayor información sobre el acceso a paquetes tecnológicos por parte de los actores de la cadena. Lo anterior constituye un insumo para el cálculo del índice de competitividad y desarrollo para el World Economic Forum mencionado por Klaus Schwab [2016]. Dentro de estos parámetros de estudio se encuentra la preparación tecnológica, la que representa uno de los factores con mayores retos en Colombia dado que es insuficiente la capacidad de innovación tal como se puede apreciar en la figura 3-2. Asimismo, con los resultados de la aplicación de la encuesta (ver ficha técnica en 4-3) se encuentra que existe un alto porcentaje de accesibilidad a equipos tecnológicos (ver figura 3-3), lo que indica que el 96 % de la muestra tiene acceso a equipos tecnológicos como celulares, computadores y tabletas, lo anterior a nivel de productores.

A pesar que este resultado es positivo, no están potencializando labores tales como el registro de producción, exploración de nuevos mercados o como herramientas de soporte para sus procesos productivos tal como se evidencia en la figura 3-4, puesto que sigue prevaleciendo los registros en hojas de papel entre otras prácticas rudimentarias. Estos resultados resultan inquietantes en el sentido que siendo la fresa uno de los productos que a nivel internacional tienen proyecciones de crecimiento en el cuarto puesto en consumo per cápita a nivel mundial (fiducoldex [2013]).

Acceso a equipos tecnológicos

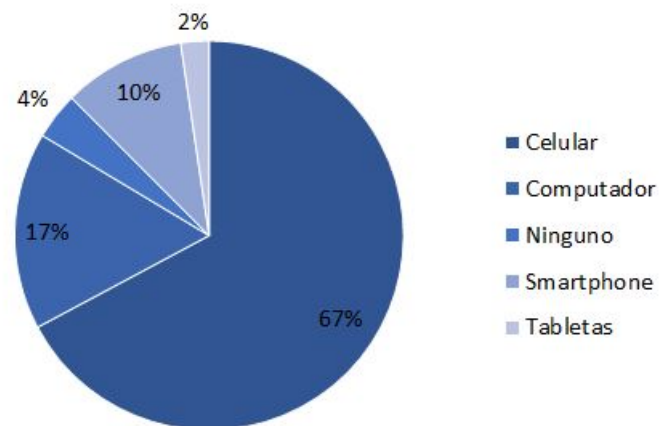
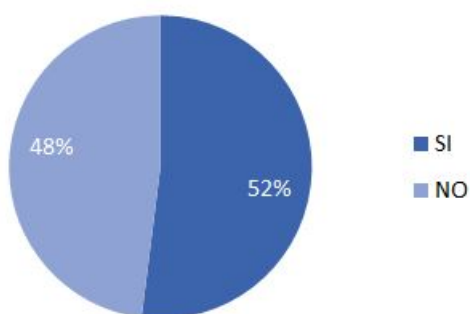


Figura 3-3.: Acceso a equipos tecnológicos

Fuente: Tomado de documento interno de trabajo grupo SEPRO, UNAL

Registro de producción



Forma en que realiza el registro

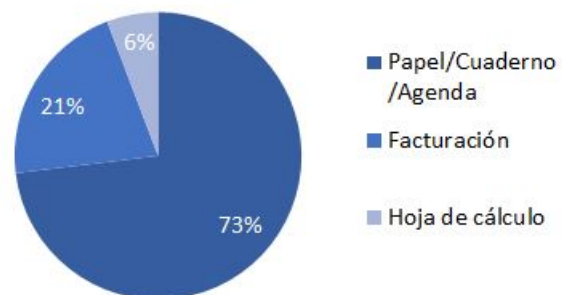


Figura 3-4.: Tipos de registro

Fuente: Tomado de documento interno de trabajo grupo SEPRO, UNAL

En consecuencia, las falencias mostradas anteriormente para el sector productor de la fresa reafirman la poca presencia de las TICs, esto constituye solo un factor que ha conllevado a ser un sector poco competitivo, afirmación respaldada por informes del Programa de Transformación Productiva, creada por el gobierno para incentivar la productividad y competitividad del país. Donde las principales conclusiones de fiducoldex [2013] para el estudio del *Plan de Negocios de Fresa* afirma que persisten las siguientes debilidades:

- “Presenta un claro problema de competitividad internacional (atomización de productores, falta de adoptar el paquete tecnológico en las condiciones del tónico, alto costo de insumos y falta de registro, acceso de crédito y escasa adecuación a necesidades, difícil uso de instrumentos existentes, rendimientos menores, pérdida post cosecha, agroindustria poco desarrollada).”
- “Modelos de trazabilidad no suficientemente implantados.” (*Justificación de la necesidad de desarrollo de sistemas de trazabilidad para el sector agropecuario en Colombia*)
- “Poca orientación a la innovación.”

3.2. Cobertura de redes de datos

¿Se dispone de la adecuada capacidad en cuanto a cobertura de red de datos celular en tecnologías 3G, LTE y Fibra Óptica dentro del polígono de estudio determinado por los objetivos específicos del presente trabajo de investigación?

3.2.1. Fuentes de datos

A partir de fuentes primarias (*Datos capturados por medio de la aplicación de calidad celular OpenSignal*) y secundarias (*Mapas de cobertura de los operadores Celulares, informes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales*) se realiza la caracterización del estado de cobertura y disponibilidad de tecnologías de red celular delimitados a los polígonos de estudio. Mediante la utilización de la app OpenSignal, se realiza un muestreo a conveniencia a través de algunos de los corredores viales utilizados para el transporte de la fresa. Para esta caracterización se miden las siguientes variables:

- | | |
|--|----------------------------------|
| ■ Ubicación (<i>Longitud, Latitud</i>) | ■ Signal to noise ratio. |
| ■ CDMA RSSI (<i>dBm</i>) | ■ Signal strength (<i>dBm</i>) |
| ■ CDMA Ec/Io (<i>dBm * 10</i>) | ■ Operador |
| ■ EVDO RSSI (<i>dBm</i>) | ■ Tecnología |
| ■ VDO Ec/Io (<i>dBm</i>) | |

La captura de muestras de calidad celular se realiza sobre uno de los clúster productores ². El análisis estadístico se complementa con los últimos informes de OpenSignal para Colombia y GSMA Latino América año 2017, resultados que se pueden apreciar en la sección de fuentes secundarias. A partir de datos públicos para los dos principales operadores de telefonía en Colombia se realiza el cruce de capas entre los datos de muestreo de la aplicación y las imágenes en formato raster de cobertura de los operadores, con este ejercicio se espera encontrar similitudes con el fin de validar a partir de una fuente primaria y otra secundaria una aproximación del estado de cobertura de redes de datos.

3.3. Fuentes secundarias

3.3.1. Estado de las telecomunicaciones en Colombia

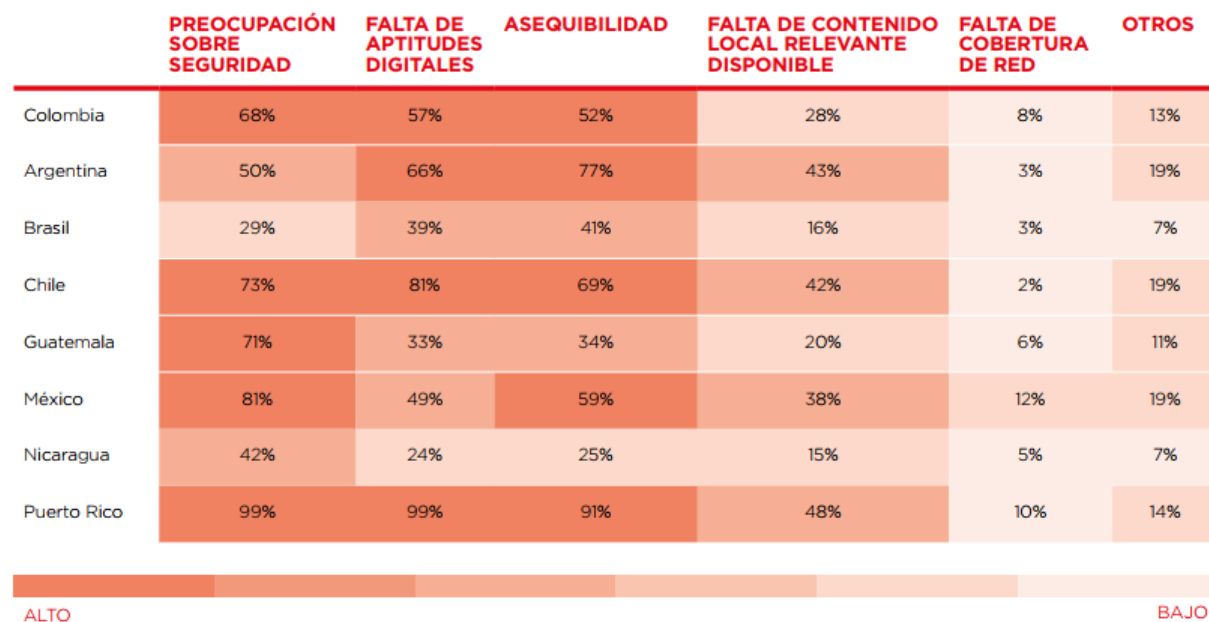
Se selecciona el informe de GSMA para Colombia y OpenSignal año 2017 debido a la alta credibilidad que tienen estas organizaciones a nivel mundial, ya que constituyen un referente de datos, análisis y previsiones de los operadores. A nivel de fabricantes se puede indicar que los principales actores en el mercado son asociados de GSMA. Según la GSMA, Colombia ha venido realizando avances importantes referente a política pública en el área de las TICs teniendo como su programa bandera el plan Vive Digital cuya primera fase consistió en la ampliación de la cobertura y la adopción de la banda ancha tanto desde el punto de vista demográfico como geográfico. También se menciona la fuerte inversión realizada por los operadores, la cual asciende a USD 9000 millones en redes y espectro radioeléctrico. Gracias a lo anterior la cobertura de banda ancha 3G supera el 95 % y 4G alcanza dos tercios de la población, la cual es comparable con la media registrada para la región (GSMA Latin America [2017]).

De igual manera GSMA Latin America [2017] menciona que Colombia cuenta con cinco operadores licenciados, en donde llama la atención que solo tres de ellos tiene una participación mayor al 5 % del mercado. Los principales operadores con mayor participación en el mercado son: Claro (subsidiaria de América Móvil), Movistar (Telefónica España), Tigo (Millicom), Avantel y ETB. A nivel regional, Colombia ha realizado claros esfuerzos para ofrecer una mayor cobertura de redes de cuarta generación a través de programas con Vive Digital pero el país aún se sitúa en el tercio inferior de los países registrados en el estudio según del informe de 2017 de GSMA Latin America [2017].

Barreras para el uso de internet móvil

Para la situación problemática en la que se desarrolla el presente trabajo se resalta la importancia que los productores tengan acceso a los medios que les permitan hacer apropiación de

²Hace referencia a un conjunto de entidades agrupadas espacialmente bajo características comunes.



Fuente: Encuesta al consumidor de GSMA Intelligence, 2015

Nota: el tamaño de la muestra es de 8000 encuestados (1000 por mercado). Se muestran los resultados relacionados con personas que no han utilizado internet en un teléfono móvil en los últimos tres meses. Porcentajes de "muy de acuerdo" a preguntas sobre seguridad, aptitudes, asequibilidad, etc. como razón para no utilizar el internet. La cantidad de no usuarios va desde 120 (13%) en Brasil a 386 (39%) en Nicaragua; Colombia = 381.

Figura 3-5.: Barreras para el uso de internet móvil

Fuente: Tomado de GSMA Latin America [2017]

las TICs, por tal motivo dada la ruralidad en cuanto contexto geográfico y social para este actor preocupa el bajo porcentaje de usuarios rurales (ver figura 3-6). Aunque el informe menciona un porcentaje de 8% (ver figura 3-5), la falta de cobertura de red como motivo para la no utilización de internet móvil, puede inducir a que en la realidad en el sector rural la no utilización puede ser inclusive mayor. Si se tiene en cuenta factores demográficos como la baja densidad poblacional por lo que resulta poco atractivo para los operadores la instalación de infraestructura que de acceso a estas zonas apartadas, la anterior condición afecta en cierto grado la implementación de sistemas de trazabilidad ya que la mayoría de las redes viales de los corredores de productos agrícolas en el país se encuentra en estas zonas.

Hacia la adopción de 4G

Colombia está por debajo de la media en cuanto a la adopción de internet móvil. Con respecto a la región la brecha se reducirá significativamente finalizada la presente década (GSMA Latin America [2017]). Para lograr un impacto real en la población, se requiere mayor infraestructura que permita una cobertura adecuada. GSMA Latin America [2017] menciona el terreno que ha ido ganando 4G mostrando que a 2016 llegaba a un 65% de la población. Teniendo en cuenta las cuantiosas inversiones realizadas por los operadores, las

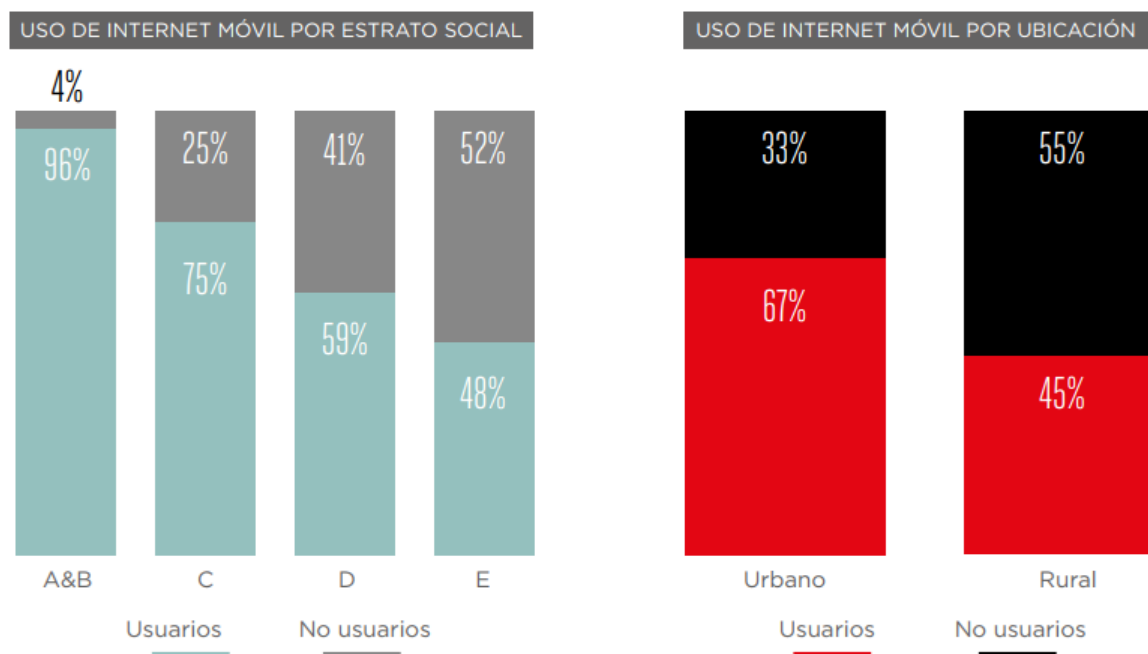


Figura 3-6.: Uso de internet móvil en Colombia

Fuente: Tomado de GSMA Latin America [2017]

cuales se aproximan en términos absolutos a las USD 5000 millones entre el año 2017 y 2020. Pese a lo anterior la transición hacia LTE es más lenta en otros países de la región (ver figura 3-7).

Resultado del informe de OpenSignal para enero de 2018 se encuentra que Claro es el segundo operador en términos de disponibilidad de servicio 4G con 63.06 % y en primer lugar Movistar Colombia con 68.07 %. Respecto a las velocidades de descarga los dos principales operadores solo tienen una separación de 0.71 Mbps registrando velocidades de 18.84 Mbps y 18.05 Mbps para Claro y Movistar respectivamente. Para las redes de tercera generación se registran velocidades de descarga promedio para Claro y Movistar de 2.87 Mbps y 2.7 Mbps respectivamente. De manera global promediando las velocidades de descarga incluyendo tecnologías 3G y 4G Movistar registra una velocidad de descarga de 6.5 Mbps y para Claro de 7.96 Mbps. Para la métrica de latencia en 3G se registra tiempos de 111.17 ms para Claro y 122.5 ms para Movistar mostrando una diferencia 11.33 ms a favor de Claro. En latencia para 4G la diferencia es menor con tan solo 0.66 ms reportando 69.53 ms para Claro y 68.87 ms para Movistar. Para la elaboración del informe OpenSignal utilizó 394.755.688 mediciones a partir de reportes de 36.135 usuarios entre el primero de Septiembre al 30 de Noviembre de 2017 (*Mobile Networks Update: Colombia - OpenSignal* [2018]).

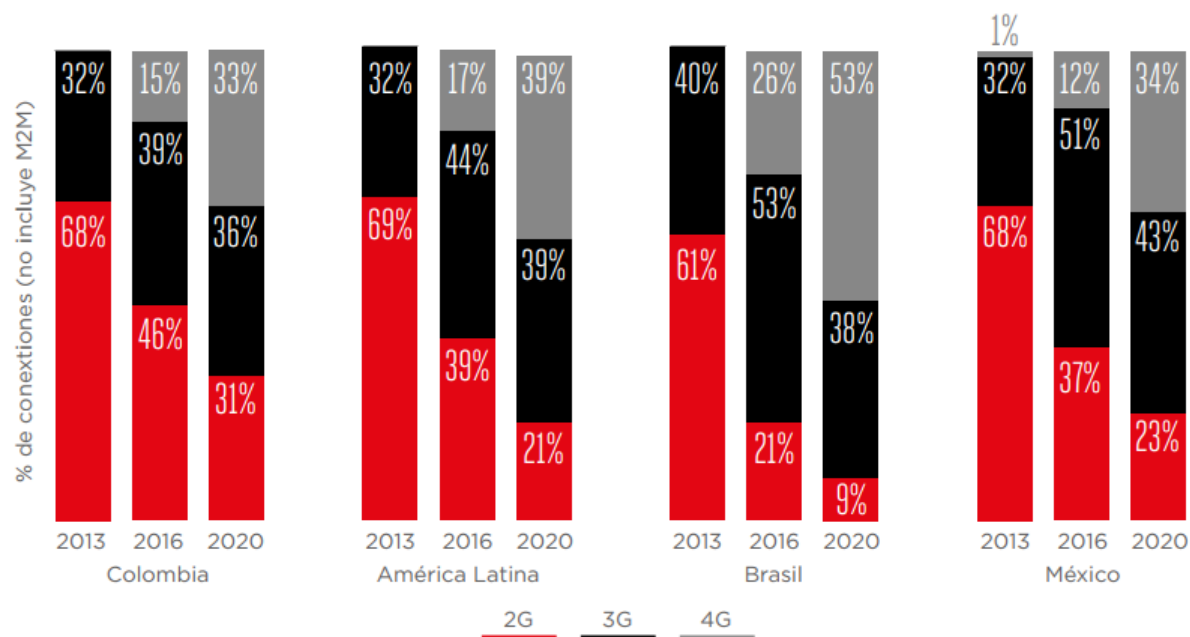


Figura 3-7.: Transición de 2G a 4G

Fuente: Tomado de GSMA Latin America [2017]

3.4. Fuentes primarias

Se programan recorridos a través de los clústeres productores de fresa con el fin de realizar un muestreo de los parámetros de calidad celular mencionados previamente, para tal ejercicio se tienen las siguientes consideraciones con el fin de evitar cualquier sesgo en el ejercicio:

- Tomas en diferentes ventanas de tiempo.
- 2 iteraciones como mínimo para cada recorrido.
- Se debe realizar el muestreo para los dos principales operadores.

Se entiende recorrido al desplazamiento que se realiza por un corredor vial en donde el lugar de partida es el mismo de meta o final, dos recorridos hacen parte de un circuito. En general los circuitos se realizan sobre vías de doble sentido para lo cual se tendrían técnicamente dos lecturas de calidad celular, una por cada operador, para cada circuito y 6 en total para el experimento, de igual forma se evita cualquier tipo de alteración en la medida de calidad, haciendo uso de una misma terminal de monitoreo. El propósito de realizar el muestreo en dos ventanas de tiempo es con el fin de mitigar la presencia de sesgos en las mediciones si se tiene en cuenta que los parámetros de calidad de las redes se ven altamente afectados por el componente temporal (horas pico y valle). Los datos se exportarán en formato .csv para

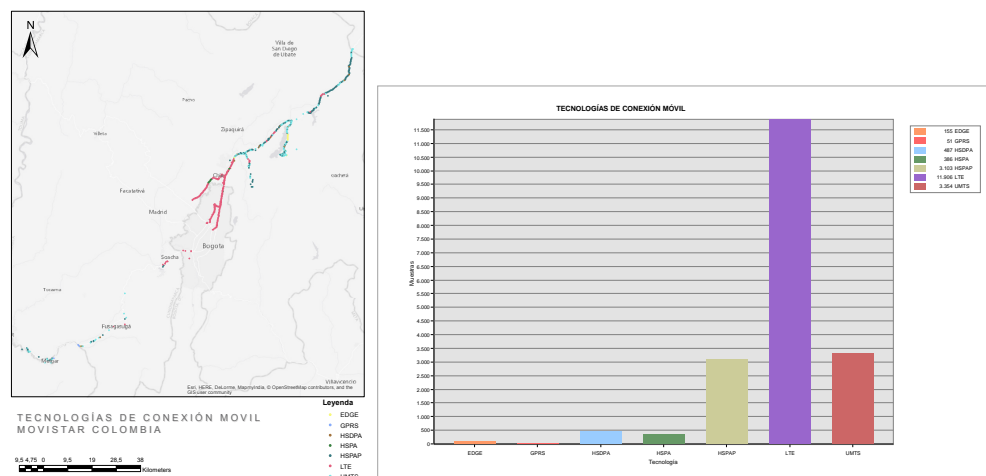


Figura 3-8.: Análisis estadístico a nivel de cobertura de red, Movistar Colombia

luego ser convertidos en formato .shp el cual es el utilizado por el Sistema de Información Geográfica utilizado en este trabajo de investigación. A nivel de capas se hace uso de material cartográfico suministrado por Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE para Cundinamarca - Colombia (Marco geoestadístico_nacional_2005_DANE [2005]).

3.4.1. Resultados y análisis de captura de datos con OpenSignal

Resultado de los recorridos realizados, específicamente hacia el corredor norte (ver figura 3-8) se evidencia un predominio de la tecnología LTE, un poco más hacia la sabana la mayor parte del corredor vial cuenta con tecnología HSPAP y UMTS, solo en unas pequeñas secciones del corredor norte se encontró tecnología 2G como EDGE y GPRS, la anterior no permite el envío de registros, pero dada la funcionalidad de almacenamiento local en modos offline no representa inconveniente alguno con la implementación del sistema. Fueron mas de 20000 las muestras tomadas (Ver anexo A) bajo una frecuencia aproximada de 3 segundos con una velocidad promedio de 60 Km/h en vehículo automotor. Las muestra fueron tomadas entre los meses de septiembre de 2017 y febrero de 2018 utilizando un dispositivo celular Referencia Lenovo Vibe Modelo A6020I36. Como complemento a esta sección de resultados y análisis de datos se realizó captura de datos de calidad celular simultaneamente al envío de registros desde el dispositivo de trazabilidad hacia el aplicativo en Cloud (ver subsección 6.4.2).

3.5. Mapas de cobertura

Para la generación de los mapas de cobertura a nivel de redes de datos móviles para los dos principales operadores en Colombia según el ranking de GSMA para latinoamérica (Claro y Movistar) se ha utilizado los recursos disponibles en las páginas web de Claro y Movistar

Colombia en las secciones de mapas de cobertura. Tomada la imagen de los mapas se procede a la georreferenciación para generar contexto geográfico con el propósito de realizar la interpolación del recurso en raster con las capas vectoriales de vías y municipios productores. A partir de los mapas de esta sección se puede tener una aproximación por inspección de cobertura por los corredores viales de los municipios productores de fresa en Cundinamarca hasta Bogotá (ver figura **3-9**).

Resultado de la interpolación de capas se encuentra que el operador Claro posee una mayor cobertura de redes 4G para las áreas de interés, a pesar que en determinados trayectos no existe cobertura 4G el operador dispone de redes de tercera generación que en la mayoría de los casos daría cobertura a estas zonas; sobre los corredores viales, que no tienen cobertura 4G como es el caso de la zona comprendida entre las inmediaciones del embalse el Sisga hasta la cabecera municipal las dos pertenecientes al municipio de Chocontá, Cundinamarca. Claro tiene cobertura de redes de tercera generación para todos los municipios productores de fresa al igual que Movistar. Mediante inspección visual a nivel de mapas de cobertura se encuentra que municipios que cuentan con cobertura 4G, esta se limita a cabeceras municipales lo que representaría una oportunidad de negocio con infraestructura ya instalada por los centros de acopio de las asociaciones, donde el operador Claro Colombia cuanta con una cobertura 4G en 9 de los 13 municipios productores mientras que el operador Movistar Colombia tiene cobertura 4G en 6 de los 13 municipios. En los municipios donde Movistar tiene cobertura 4G el operador claro también la tiene a excepción de Chocontá. Pasando al terreno de la banda ancha cableada, Azteca comunicaciones tiene presencia en 7 de los 13 municipios productores y al igual que los operadores móviles su área de cobertura está limitada a las cabeceras municipales, Azteca ofrece dos opciones de última milla a sus abonados ya sea mediante tecnología Radio ó Fibra Óptica (Gpon) o WiFi dependiendo de la disponibilidad de servicio. En los municipios de Simijaca y Guachetá, Azteca es el único proveedor de banda ancha ya que los operadores Claro y Movistar no disponen de infraestructura 4G. En principio se podría indicar que todos los municipios productores disponen de banda ancha, pero se menciona que la mayoría de las fincas productoras no se encuentran en las cabeceras municipales y que en estas zonas en el mejor de los casos se dispone de tecnología 3G o 2G. La posibilidad de instalar un radio enlace en las fincas es difícil en parte por la topografía de las zonas en donde se requiere la triangulación de la señal lo que incrementaría los costos de instalación y operación para la instalación de un enlace de estas características. En resumen, de disponibilidad de tecnologías de redes de datos 3G, 4G y Fibra Óptica para los municipios de productores de fresa en Cundinamarca se puede apreciar en la tabla **3-1**. Con el propósito de ofrecer al lector una lectura rápida de las velocidades de descarga de datos se inserta la tabla **3-2** al igual de una base de comparación entre las tecnologías 2G, 3G 4G y sus tecnologías intermedias.

Tabla 3-1.: Cobertura de redes de datos

Fuente: Datos tomados de Cobertura Movistar Colombia [2015], Azteca Comunicaciones [2016], *Mapa de Cobertura Claro Colombia* [2015]

MUNICIPIO	4G CLARO	3G CLARO	4G MOVISTAR	3G MOVISTAR	AZTECA
SIMIJACA	NO	SI	NO	SI	SI
GUACHETÁ	NO	SI	NO	SI	SI
VILLAPINZÓN	SI	SI	NO	SI	SI
CHOCONTÁ	NO	SI	SI	SI	NO
SUESCA	SI	SI	NO	SI	SI
SOPÓ	SI	SI	SI	SI	NO
GUASCA	NO	SI	NO	SI	NO
ALBAN	SI	SI	NO	SI	SI
EL ROSAL	SI	SI	SI	SI	SI
ZIPACÓN	SI	SI	NO	SI	SI
FACATATIVÁ	SI	SI	SI	SI	NO
SOACHA	SI	SI	SI	SI	NO
SIBATÉ	SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 3-2.: Comparación de velocidad entre 3G y 4G

Fuente: Datos tomados de Ramzan y Shaheen [2017]

Symbol	Standard	Nombre	Max. Vel. Descarga	Mín. Vel. Descarga
2G	GSM	Global System for Mobile Communications	14.4 Kbits/s	14.4 Kbits/s
G	GPRS	General Packet Radio Service	53.6 Kbits/s	26.8 Kbits/s
E	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	217.6 Kbits/s	108.8 Kbits/s
3G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	384 Kbits/s	128 Kbits/s
H	HSPA	High-Speed Packet Access	7.2 Mbits/s	3.6 Mbits/s
H+	HSDPA	Evolved High-Speed Packet Access - Release 6	14.4 Mbits/s	5.76 Mbits/s
H+	HSPAP	Evolved High-Speed Packet Access - Release 7	21.1 Mbits/s	11.5 Mbits/s
4G	LTE	Long Term Evolution	100 Mbits/s	50 Mbits/s

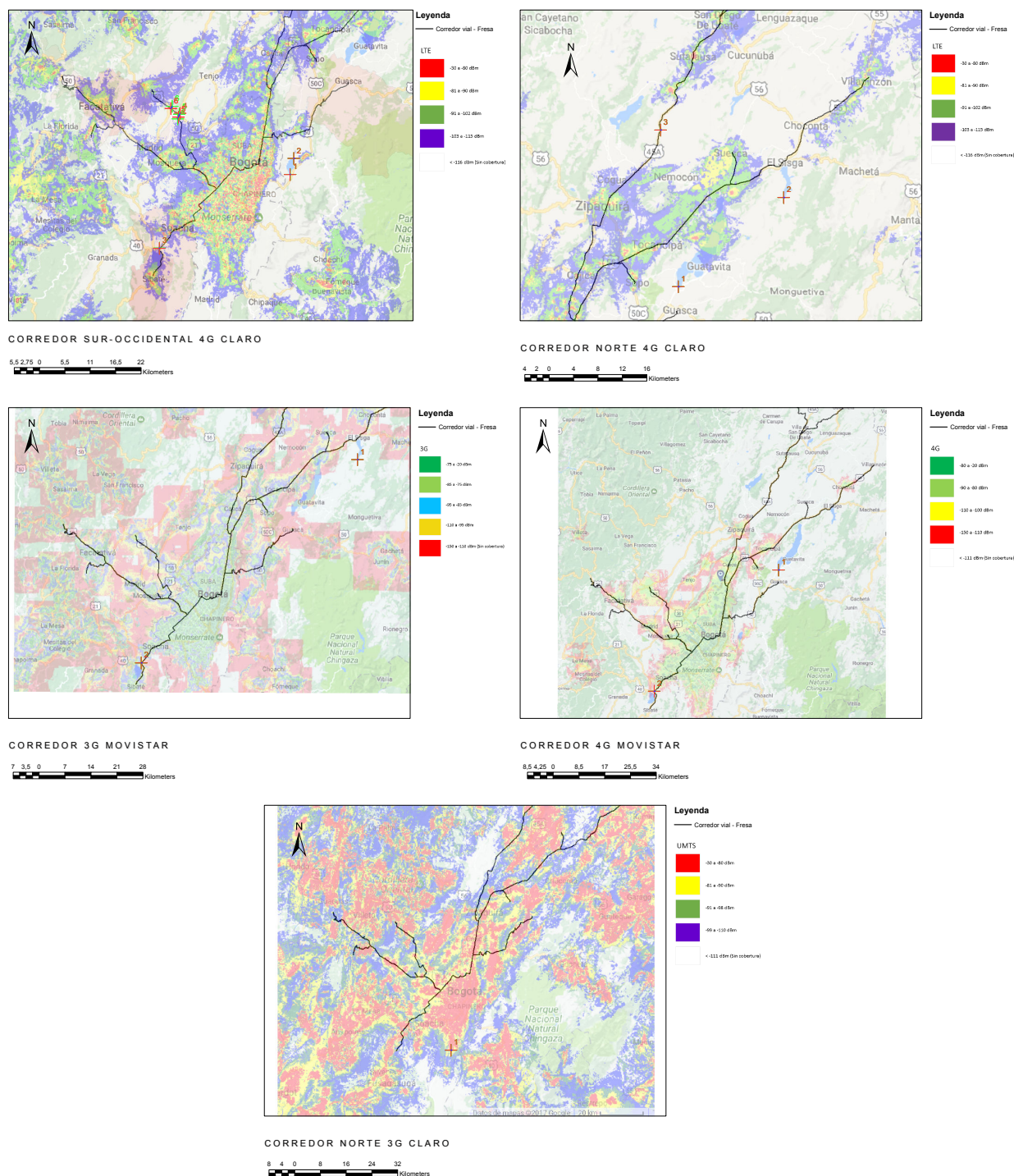


Figura 3-9.: Mapas de cobertura de redes de datos

Fuente: BaseMaps de cobertura tomados de www.claro.com.co y www.movistar.co

4. Def. del modelo conceptual de plataforma para la identificación de componentes

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha señalado la importancia de la trazabilidad, como factor tecnológico para las cadenas de suministro de alimentos perecederos. Por esto es necesario identificar y establecer los elementos para el diseño e implementación de un sistema de trazabilidad que permita a los actores implicados su adopción. En este capítulo se muestran algunos resultados de la caracterización del proceso logístico de la fresa en Cundinamarca, Colombia. Los resultados y desarrollo metodológico de la caracterización, son el producto de los ejercicios realizados por el grupo de investigación SEPRO de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y que se encuentran plasmados en el documento interno de trabajo titulado *INFORME DE CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE OPERACIÓN LOGÍSTICA, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.

4.1. Operación logística

Con el propósito de contextualizar el desarrollo del trabajo de investigación como una alternativa de solución a la problemática del agro en Colombia, bajo ciertas delimitaciones y enmarcado dentro un proyecto general que agrupa veintitrés productos tal como se presenta en la figura 4-1. En la parte inferior aparece como producto entregable un prototipo de sistema de trazabilidad, lo anterior evidencia la articulación y pertinencia del desarrollo del presente trabajo de investigación como respuesta a una necesidad social del país.

4.1.1. Metodología

La caracterización del proceso logístico de la fresa en Cundinamarca, Colombia representa una de las etapas dentro de la metodología para el desarrollo del “Diagnóstico del estado tecnológico y la evaluación tecnológica y de procesos en el sistema de operación logística y distribución en Bogotá y Cundinamarca (CTA2)” junto con las etapas de: definición del objeto de estudio y el Diseño de modelos de operación logística.

Para la caracterización del sistema logístico de la cadena de suministro de la fresa, el grupo SEPRO llevó a cabo el levantamiento de información en campo a través de la aplicación de

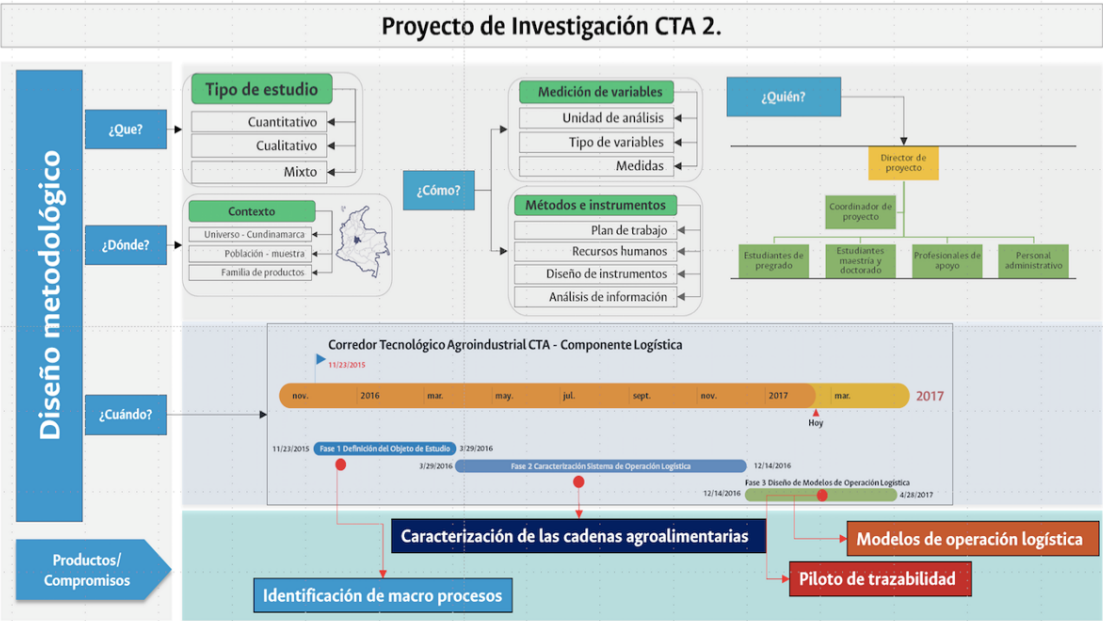


Figura 4-1.: Marco general

Fuente: Tomado de documento interno de trabajo grupo Sepro, Unal

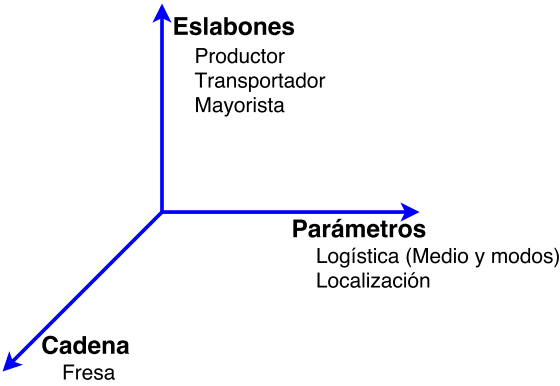


Figura 4-2.: Elementos de análisis para el proceso logístico

Fuente: Adaptado de documento interno de trabajo grupo Sepro, Unal

Figura 4-3.: Ficha técnica de encuesta

Ficha Técnica
EMPRESA ENCUESTADORA: Grupo de Investigación SPERO, UNAL.
PERSONA QUE LA ENCOMENDÓ: Gobernación de Cundinamarca.
MARCO MUESTRAL: .
TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA: 36 encuestas, distribuidas entre 36 productores ubicados en los municipios productores de fresa de Cundinamarca, Colombia.
SISTEMA DE MUESTREO: Muestreo por conveniencia.
TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS: Encuestas personales cara a cara con los actores identificados.
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS: Julio, Agosto y Septiembre de 2016.
TASA DE RESPUESTA: Muestreo por conveniencia.
TEMAS A LOS QUE SE REFIERE: Muestreo por conveniencia.
PERSONAJES O INSTITUCIONES POR LAS CUALES DE INDAGÓ: Referirse a cuestionario.
PREGUNTAS CONCRETAS QUE SE FORMULARON: Referirse a cuestionario.

instrumentos dirigidos a los actores de la cadena de suministro (Productor, Transportador, Mayorista, Minorista de tienda, Minorista plaza de mercado), cuyos roles fueron identificados dentro del proceso logístico que comprende los sub-procesos de aprovisionamiento, almacenamiento, distribución y transporte (ver ficha técnica de la encuesta en 4-3).

4.1.2. Actores

Productor

En Cundinamarca se realizaron visitas a los principales municipios productores de fresa durante los meses de julio, agosto y septiembre del año 2016. En cuanto a municipios productores de fresa, se registró información de Sibaté en las veredas Perico y San Rafael; de Facatativá en las veredas El corito, La Selva y Los Manzanos; y en Guasca se encuestaron productores en la vereda Pastor Ospina. De los 36 productores encuestados, 15 corresponden a productores en Sibaté, 11 a Guasca, 9 a Facatativá, y el restante al municipio de Silvania,

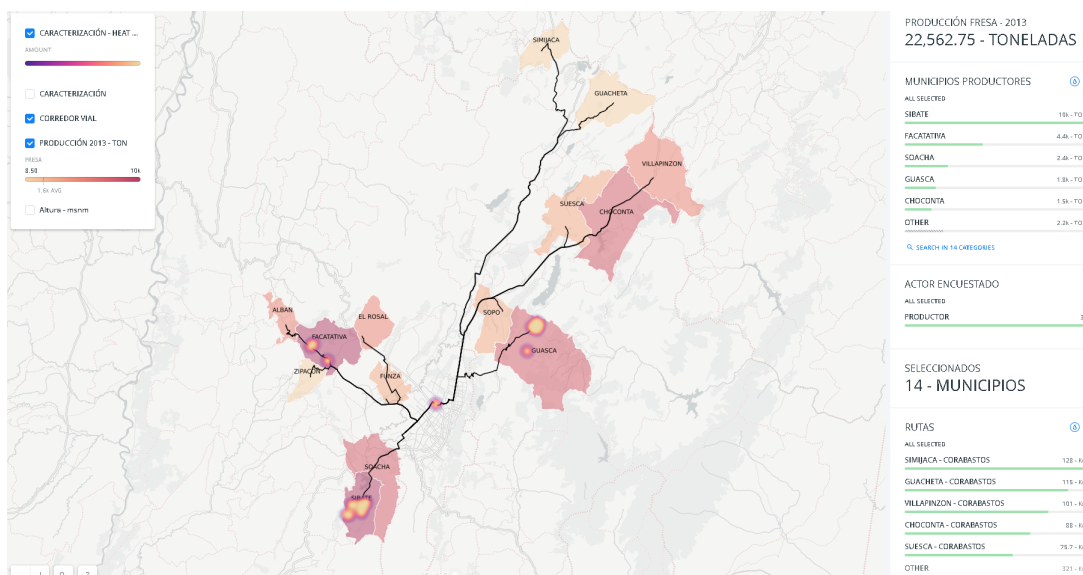


Figura 4-4.: Municipios Productores de Fresa

como se indica en la Figura 4-4.

4.1.3. Modos Sub-procesos

- **Almacenamiento** : la fresa es un cultivo de producción permanente, el productor suele cosechar entre 1 o 2 veces por semana durante todo el año. Según lo registrado por los 36 productores de fresa encuestados en Cundinamarca, el 33 % produce entre 500 y 800 kilogramos, lo cual representa entre 62 y 100 canastillas de 8 kilogramos. El 19 % produce entre 300 y 500 kilogramos a la semana y, con menor porcentaje, el 17 % produce entre 800 y 1500 kilogramos, lo cual corresponde aproximadamente a entre 100 y 200 canastillas semanalmente. En general, los productores no suelen almacenar la fresa, debido a la alta perecibilidad de este fruto, lo que hace que la venta sea casi inmediata. El productor suele cosechar en horas de la mañana, directamente en el embalaje destinado para transporte, para disminuir en lo posible, la manipulación de los frutos y evitar su deterioro. Posteriormente, terminada la cosecha, se suele acopiar o apilar los embalajes con el producto, los cuales comúnmente son canastillas plásticas y allí permanecen hasta el momento en que el transportador, intermediario o mayorista las recoge en la puerta de la finca a la espera del cargue el cual frecuentemente se realiza en horas de la tarde.

Durante la cosecha de la fresa se realiza una clasificación de calidad, de acuerdo al tamaño y coloración del fruto. En el cultivo, el productor dispone de 5 envases para separar las fresas en categorías de la 1 a la 5, que luego se colocan en las canasti-

llas plásticas. De 36 encuestados en fresa, 13 realizan este tipo de clasificación. Sobre acciones en el proceso de almacenamiento en acopios temporales, se observa que la mayoría de ellos no hace uso de ninguna herramienta tecnológica. Por otra parte, en cuanto a las medidas sanitarias adoptadas, el productor realiza la limpieza habitual y, en algunos casos, la fumigación del espacio destinado para este fin.

- **Distribución** : la comercialización se realiza generalmente en la finca, ya que, en el 61 % de los productores encuestados, el supermercado, intermediario o mayorista, compra la cosecha en la unidad productiva directamente. En otros casos, el 14 % corresponde al productor que lleva el producto hasta el mayorista y el 25 % lo realiza de manera mixta. Usualmente el vehículo es propiedad del comprador, como lo afirman el 78 % de los productores encuestados.

El 100 % de los productores de fresa indicaron que el embalaje utilizado es la canastilla plástica, la cual comúnmente tiene capacidad de 8 Kg. El embalaje de cosecha es el mismo para transporte. Estas canastillas se rotan y son propiedad del mayorista cuando la relación comercial es de cliente exclusivo; sin embargo, los productores que llevan el producto directamente al mayorista poseen sus canastillas propias y así mismo las intercambian por embalajes vacíos.

- **Transporte:** el 45 % indicó que el transporte se suele realizar en furgones, el 16 % en camión tipo turbo y camión de dos ejes sencillo. Es importante mencionar que el tipo de vehículo que realiza el cargue en las unidades productivas depende en cada caso del tipo y estado de las vías de acceso a las veredas en cada municipio. La mayoría de productores venden directamente en puerta a mayoristas como Corabastos, grandes superficies o intermediarios; razón por la cual el transporte suele ser asumido por el mayorista o comprador. En otros casos el mismo productor transporta y comercializa el producto. De los 100 productores encuestados de fresa, el 52 % registra su producción mientras que el 48 % restante no lo hace. De este porcentaje que si realiza el registro de la producción el 73 % lo hace de manera manual en papel o cuadernos, el 21 % realiza facturación sobre los productos que comercializa, mientras que el 6 % hace uso de hojas de cálculo. De los 100 productores la mayoría tienen acceso al uso de celular mientras que 4 % de los encuestados no hacen uso de ningún elemento. El 17 % tiene acceso al computador y dentro de este porcentaje algunos lo usan para realizar el registro de su producción en herramientas como Excel; sin embargo, la mayoría de productores realizan los registros de manera manual. Respecto al marcaje del producto, en general el productor no suele marcar las canastillas. Es más frecuente que el mayorista o intermediario compre directamente en la finca del productor y es menos frecuente que el productor lleve directamente hasta el mayorista el producto en vehículos propios o contratados. En cuanto al vehículo utilizado para el transporte el más común es de carrocería de estacas, sin embargo en cuanto a la clasificación por capacidad de vehículo , en fresa el furgón y las camionetas suelen ser lo más utilizados. Es importante

mencionar que el cargue del producto directamente en la finca del productor se realiza en camionetas tipo 350, 100 o camperos, debido al tipo y estado de las vías a las veredas.

4.1.4. Cadena de suministro de fresa en Cundinamarca, Colombia

En la figura 4-5 se puede apreciar la cadena de suministro para la fresa en Cundinamarca, Colombia.

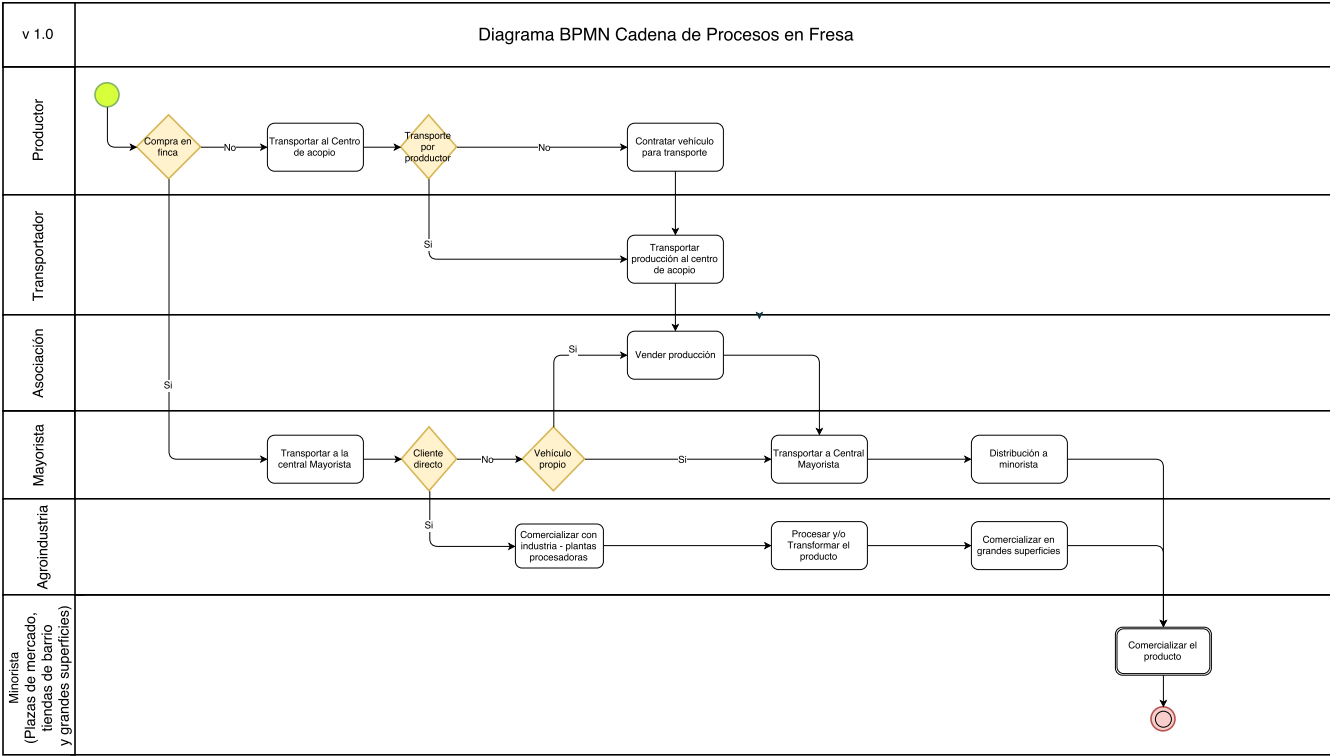


Figura 4-5.: BPMN
 Fuente: Tomado de documento interno de trabajo grupo Sepro, Unal

4.1.5. Propuesta de proceso logístico a partir de la Caracterización para la implementación de un sistema de trazabilidad

La cadena de suministro ideal fue generada y validada por los diferentes actores, en esta se definió a su vez los modos y medios involucrados en el proceso logístico de la fresa resultado de los ejercicios de socialización con los distintos actores, así como los flujos y relaciones entre estos. Para ver en detalle los resultados de la validación con los actores se debe remitir al documento interno de trabajo del grupo SEPRO mencionado en la introducción del presente capítulo.

Red logística ideal de la fresa

La cadena de suministro ideal fue generada y validada por los diferentes actores, en esta se definió a su vez los modos y medios involucrados en el proceso logístico; en la figura 4-6 se presenta la configuración de la cadena ideal de distribución de fresa resultado del ejercicio, así como los flujos y relaciones entre actores.

Los productores están de acuerdo en que el deber ser de la cadena parte de la asociatividad de los productores como componente fundamental de la cadena de suministro o red logística de la fresa, lo anterior habilita la generación de economías de escala que permite bajar algunos costos asociados a la operación logística, también permitirá, según los productores, comercializar de manera segura su producto y además entrar a competir en nuevos mercados ofreciendo productos de alta calidad. Con el fin de mejorar la visibilidad de sus procesos y productos todos coinciden en la inclusión de los siguientes medios dentro de la operación:

- **Centro de Acopio:** Es indispensable para la asociación; sin embargo, este debe contemplar servicios que le den valor agregado al mismo, es decir, que se realicen actividades de pre-procesamientos como clasificación, empaque, lavado entre otros. El centro de acopio debe estar ubicado en la cabecera municipal, debe ser manejado y operado por la asociación de tal manera que se cumpla la función de aprovisionamiento, comercialización, distribución y almacenamiento. En cuanto a infraestructura se refiere, debe contar con una zona de cuarto frío, zona de clasificación y zona de reempaque.
- **Transporte:** referente al transporte se refiere tanto para recoger el producto en la unidad productiva hasta el centro acopio, así como su posterior distribución, debe ser responsabilidad de la asociación; se plantean así dos opciones: la primera es de disponer de vehículos propios con las condiciones adecuadas, la segunda y más viable según los actores involucrados es contratar un operador logístico que garantice el transporte bajo condiciones ambientales adecuadas, la seguridad, control y calidad del producto.
- **Sistema de Información:** el sistema debe asegurar un seguimiento al producto, desde que el producto es recogido y acopiado, en el transporte hasta el mayorista, hipermercado entre otros. Control en la calidad del producto en cuanto a condiciones de manipulación y transporte se refiere. En este orden de ideas el sistema de información debe registrar:
 - Cantidad en peso que pertenece a cada productor en el total despachado, características y calidad del producto.
 - Origen del producto, cantidad destinada y despachada para transporte.
 - Registro de condición ambiental en vehículo, temperatura y humedad relativa adecuada, fuerzas físicas externas a las que está sometido el producto.

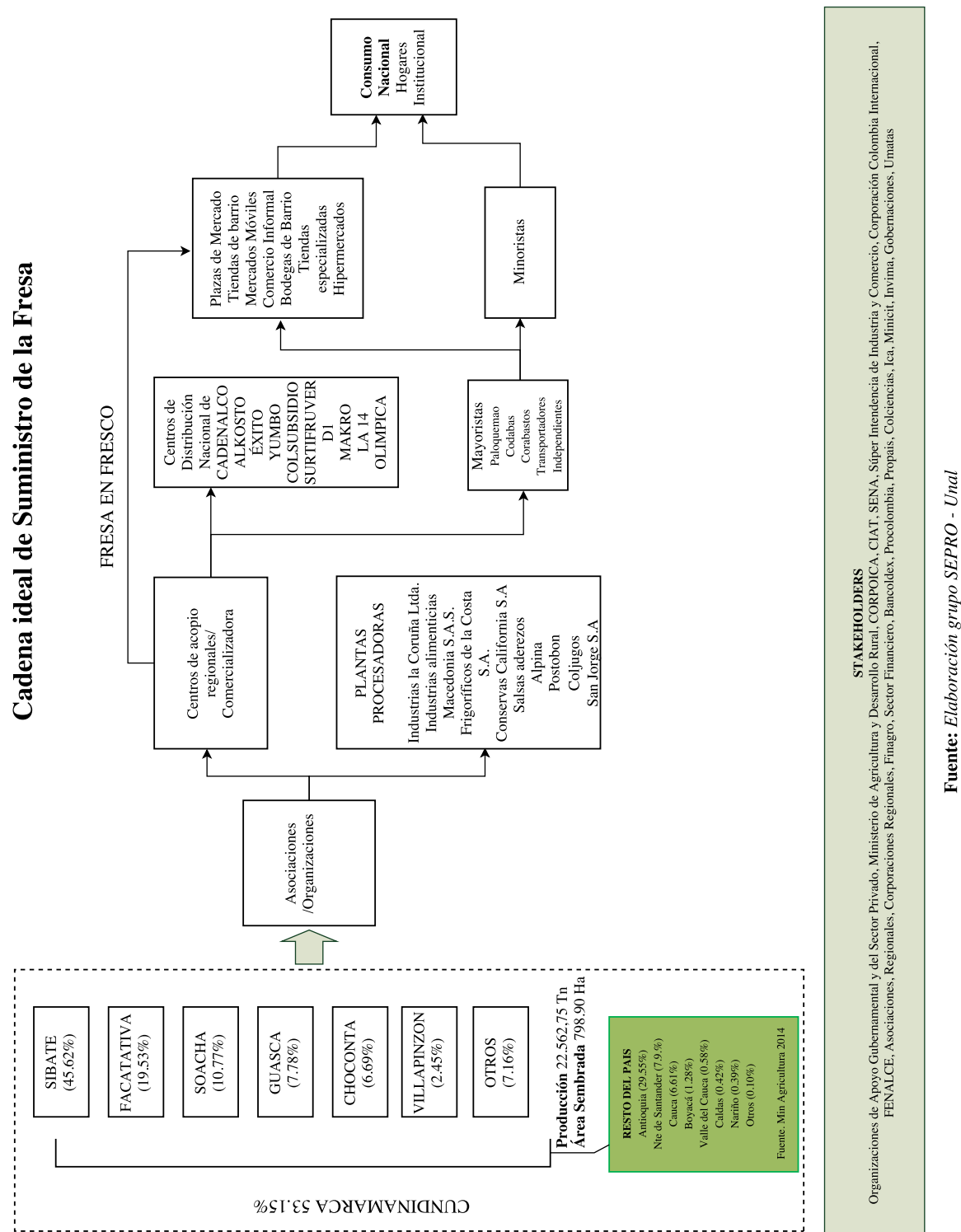


Figura 4-6.: Modelo propuesto de red ideal para la fresa
Fuente: Tomado de documento interno de trabajo grupo Sepro, Unal

Tabla 4-1.: Objetivos del Sistema de Trazabilidad

Temas	Objetivos
Calidad	Optimizar procesos productivos Identificar causas en pérdida y cantidad del producto Certificación de origen del producto
Salud y seguridad	Identificación de lotes contaminados
Logística	Monitoreo en tiempo real de los productos Administración de Stock
Aspectos legales	Respetar reglamentaciones Identificación de responsables
Marketing/Comercial	Creación de marca Relación de confianza con los consumidores Proveer información detallada al consumidor Visibilidad de certificaciones

4.2. Componentes del Sistema de Trazabilidad

Siguiendo la documentación de GS1 ARGENTINA [2003] para la construcción de un Sistema de Trazabilidad se realiza la identificación de estos, bajo el contexto del proceso logístico de la Fresa.

4.2.1. Alcance

Contexto

Corresponde a los resultados de los ejercicios de caracterización del capítulo 3 y sección 4 específicamente subsección de Operación Logística. Teniendo que cuenta que acá se deben identificar aspectos como: las practicas del sector, el contexto tecnológico, la cultura, las necesidades de los clientes entre otros.

Objetivos

Luego de las respectivas validaciones con las asociaciones de fresa invitadas a participar en el Corredor Tecnológico Agroindustrial, la mayoría concuerdan en que si se llegara a implementar un sistema de trazabilidad los objetivos de este deberían ser los que se pueden apreciar en la tabla 4-1 (No jerárquizados).

Destinatario

Basados en GS1 ARGENTINA [2003], la red de que representa la cadena de suministro de la Fresa queda suficientemente explicada en la figura 4-6. Esta representación permite

identificar las relaciones entre actores, las funciones de cada uno, la responsabilidad de cada eslabón dentro de la cadena.

4.2.2. Elementos que serán rastreados

Canastillas de fresa.

4.2.3. Medios

Sistema de Información

Constituye la herramienta que dará soporte a las operaciones de:

- Captura y almacenamiento de datos
- Transmisión, procesamiento y acceso a los datos
- Análisis de datos
- Registro de inventario
- Administración de solicitudes

Lo anterior como complemento a lo desarrollado en 4.1.5

Captura y almacenamiento de datos

Los datos de trazabilidad serán proveídos por los diferentes actores de la cadena de suministro, para el caso de los productores podrán registrar información como: certificados, fecha de siembra y cosecha, procedencia del producto, productor. Para el transportista se habilitarán opciones para inicio y fin de la ruta, tiempo total de recorrido, tipo de vehículo utilizado para el recorrido, variables ambientales referentes a microclima en el módulo de carga del vehículo. Para la asociación se permitirá la gestión de stock, registro de asociados, conductores registrados y vehículos habilitados, también llevará control de cantidad de producto entregado con el fin de obtener indicadores de rendimiento y pagos.

El sistema debe permitir a los productores llevar un registro de todo el producto y las condiciones de este entregado a la asociación. Este registro se debe realizar al momento de la entrega al transportista y solo podrá ser verificado por el productor y la asociación. El sistema debe estar en capacidad de dar respuesta a cualquier solicitud de información de cualquiera de los stakeholders de la cadena a través de las interfaces y filtros de búsqueda adecuados.

Transmisión, procesamiento y acceso a los datos

El sistema de información debe permitir el acceso, dependiendo del rol, a los históricos de trazabilidad de forma rápida y confiable. Con el propósito de garantizar un nivel de trazabilidad adecuado la información crítica debe ser enviado a los stakeholders de la cadena haciendo uso de los canales disponibles. El sistema debe permitir al usuario transportista la consulta de la ruta asignada, con el respectivo listado de fincas a visitar.

Análisis de datos

A partir de los históricos de trazabilidad, el sistema deberá permitir la generación de analíticas que busquen en principio, identificar factores que afecten la calidad del producto y la eficiencia del proceso logístico.

Herramientas

Las herramientas utilizadas para la captura de datos deben tener el mayor grado de automatización posible, con el fin de evitar cualquier posible error humano, de igual manera el impacto de su implementación será menor teniendo en cuenta el contexto sociocultural de los potenciales usuarios. Para el caso de captura de datos de las canastillas se hará uso de códigos de barras en complemento con etiquetas legibles para humanos. Para la identificación de usuarios se hará uso de tecnología RFID puntualmente NFC dado que evita la interacción con teclados o pantallas táctiles, que potencialmente representan algún tipo de dificultad para los usuarios.

4.2.4. Desempeño

Se requiere del compromiso de los stakeholders y también de la adecuada capacitación que estos reciban para que el sistema pueda proveer datos sin ningún tipo de error o manipulación. La rapidez del sistema está en función de los canales de comunicación que se estén utilizando, pero se espera que en el peor de los casos no supere los 7 segundos, cuando se requiera conexión de las terminales con el servidor de aplicaciones.

4.3. Metodología ADD

Con el propósito de desarrollar una solución tecnológica a partir de las restricciones obtenidos durante la etapa de evaluación tecnológica y caracterización del proceso logístico de la fresa, se adopta la metodología Attribute-Driven Design (ADD) o Diseño conducido por atributos. ADD fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería Carnegie Mellon Software, metodología ampliamente utilizado para el desarrollo de arquitecturas de software y recientemente enfocada hacia el desarrollo de sistemas IoT. Constituye un método recursivo a

partir de la descomposición de los elementos del sistema o el sistema en sí. Implementar una arquitectura de diseño permite mitigar riesgos que van desde, no cumplir con las expectativas del usuario, el aumento en los tiempos de entrega de los artefactos a causa de la ausencia de trazabilidad de costos y presupuestos entre otros; procesos iterativos y técnicas ágiles pueden ayudar a solucionar estos problemas Wood [2007]. Los requerimientos identificados, con las decisiones de diseño propuestas al igual que las entradas y salidas de cada componente se, desarrollan y especifican con un grado mayor de detalle en los capítulos posteriores.

Cada componente debe pasar por las etapas de Plan-Do-Check-Act de manera iterativa hasta que el componente cumpla los requerimientos establecidos. A continuación, se hace una descripción de las etapas de análisis para cada componente:

- **Plan:** se seleccionan los atributos de calidad para cada componente.
- **Do:** se aplican las tácticas y patrones seleccionadas con el fin de satisfacer todos los requerimientos para cada componente.
- **Check:** se analiza el diseño
- **Act:** se recibe retroalimentación de la etapa de check.

4.3.1. Entradas

Requerimientos funcionales

Se hace un listado de los requerimientos funcionales identificados para el sistema de trazabilidad (ver tabla 4-2)

Restricciones de diseño

- **Disponibilidad:** el componente centralizado y desplegado en Cloud debe tener una disponibilidad no inferior al 90 %
- **Portabilidad:** el sistema debe funcionar en 3 de los principales navegadores web al momento de su construcción (*Firefox*, *Chrome*, *EDGE*).
- **Persistencia:** el sistema debe tener la capacidad de almacenar los historicos mayores a 1 año.
- **Capacidad:** los componentes del sistema no deben tener un uso de CPU mayor al 50 %.
- **Usabilidad:** los tiempos de respuesta de la aplicación deben ser menores a 5 segundos.
- **Rendimiento:** el sistema de trazabilidad debe poder procesar las lecturas de los sensores cada 3 segundos. Adicionalmente los tiempos de subido de registros a la nube no deben exceder 1 segundo.

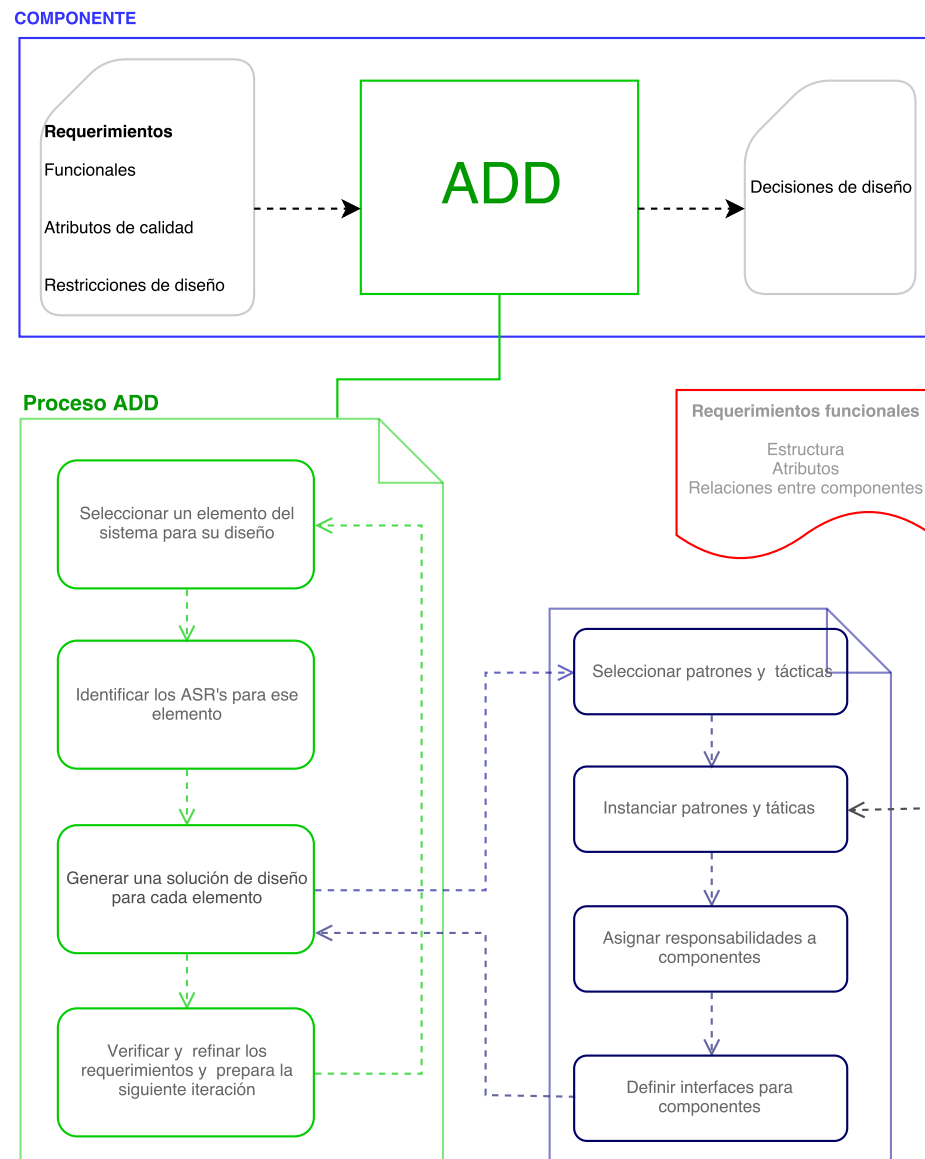


Figura 4-7.: METODO ADD
Fuente: Adaptado de Wood [2007]

Tabla 4-2.: Tabla de requerimientos funcionales

Id de la Historia	Rol	Característica/Funcionalidad
01	Asociación	Se puede registrar nuevos productores o transportistas en el sistema
02	Asociación	Se pueden agregar o borrar fincas de productores asociados
03	Asociación	Generar mapas con puntos asociados a fincas de los asociados
04	Asociación	Información detallada de cada asociados
05	Asociación	Crear usuarios, habilitar permisos de acceso
06	Asociación	Permite la creación de rutas de recolección, generadas a partir de las vías disponibles y de la ubicación de las finas
07	Asociación	Permite obtener la ubicación de todos los vehículos registrados en tiempo real
08	Asociación	Permite obtener datos de la sensórica de cada dispositivo de trazabilidad
09	Asociación	Debe permitir generar estadística sobre las rutas de recolección
10	Asociación	Generar reporte de pagos a los productores en cada ciclo de facturación
11	Asociación	Generar notificaciones masivas para todos los usuarios
12	Asociación	Crear informes ejecutivos a partir de todos los datos capturados
13	Transportador	El usuario puede ver el histórico de las rutas realizadas
14	Transportador	El transportista puede ver las paradas que debe hacer durante el recorrido
16	Transportador	Al igual que para el usuario productor el transportista puede ver el reporte de pagos realizados por la asociación
17	Transportador	El transportista puede ver la posición de los otros transportistas
18	Asociación	Generar reporte de pagos realizados a todos los transportistas
19	Transportador	Se requiere esta función para que el transportista se pueda iniciar sesión en el sistema
20	Transportador	El transportador podrá editar los datos de su cuenta
21	Productor	El productor podrá editar los datos de su cuenta
22	Productor	El productor puede conocer la ubicación del transportista asignado a la ruta que da cobertura a la finca
23	Productor	El usuario podrá ver el reporte de pagos realizados por la asociación
24	Productor	Podrá ver las condiciones y tiempos de transporte del producto hasta el centro de acopio en la asociación

Atributos de calidad

- El sistema debe interactuar con otros sistemas a partir de protocolos IoT.
- Se puede utilizar gestores de bases de datos opensource o privativos.
- Los servicios proveídos deben ser accesibles a través del protocolo http.
- El sistema debe hacer uso de los protocolos y estándares propuestos por las principales organizaciones de estándares y protocolos para IoT.
- Para los componentes de hardware se requiere hacer uso de plataformas abiertas de desarrollo.

Propuesta de modelo general

Como producto final de la aplicación de la metodología se obtiene un diagrama funcional general del modelo de sistema de trazabilidad (ver figura 4-8). Se reitera que la metodología, continúa implementándose durante el desarrollo de los siguientes capítulos y que para este estado de avance resulta adecuado la obtención de una estructura general hablando en términos de modelo de plataforma tecnológica.

La aplicación del lado del servidor se debe encontrar bajo un esquema de alta disponibilidad y replicación preferiblemente a nivel de nodo, haciendo referencia a sistema de virtualización en clúster. Las instancias que alojan la aplicación deben estar protegida por un mecanismo que permita hacer balanceo de carga, esto puede ser a través de un proxy, contemplar la po-

sibilidad de escalamiento horizontal o vertical, no está de más, dependiendo de la criticidad del sistema en la organización. A nivel de base de datos es pertinente adoptar esquemas de clúster y replicación, con el propósito de soportar la posibilidad de aumento en procesos de lectura y escritura de registros. Aunque no se hace mención a componentes de seguridad, es altamente recomendable en ambientes de producción la configuración de un firewall a nivel de aplicaciones, configuración adecuada de listas de control de acceso, configuración de puertos, segmentación de redes o en términos de nube la creación de zonas y la comunicación entre estas, lo anterior permitirá robustecer los esquemas de seguridad.

Parte del procesamiento que requiere realizar el sistema, debe hacerse en componentes cercanos al usuario, esto motivado por los problemas de conectividad a nivel de redes WAN que impedirían en ocasiones alcanzar la aplicación en nube. Los problemas a nivel de redes LAN serán menos frecuentes, debido a la presencia de pocos componentes de networking, lo que implicará mejores indicadores en cuanto a latencias y calidad de servicio. Parte de las tareas que realizará el sistema no requieren conectividad permanente a la aplicación en Cloud, es el caso de la captura de registros de sensores. Lo anterior es la justificación para que la solución tecnológica incorpore dispositivos embebidos como parte del modelo de sistema de trazabilidad.

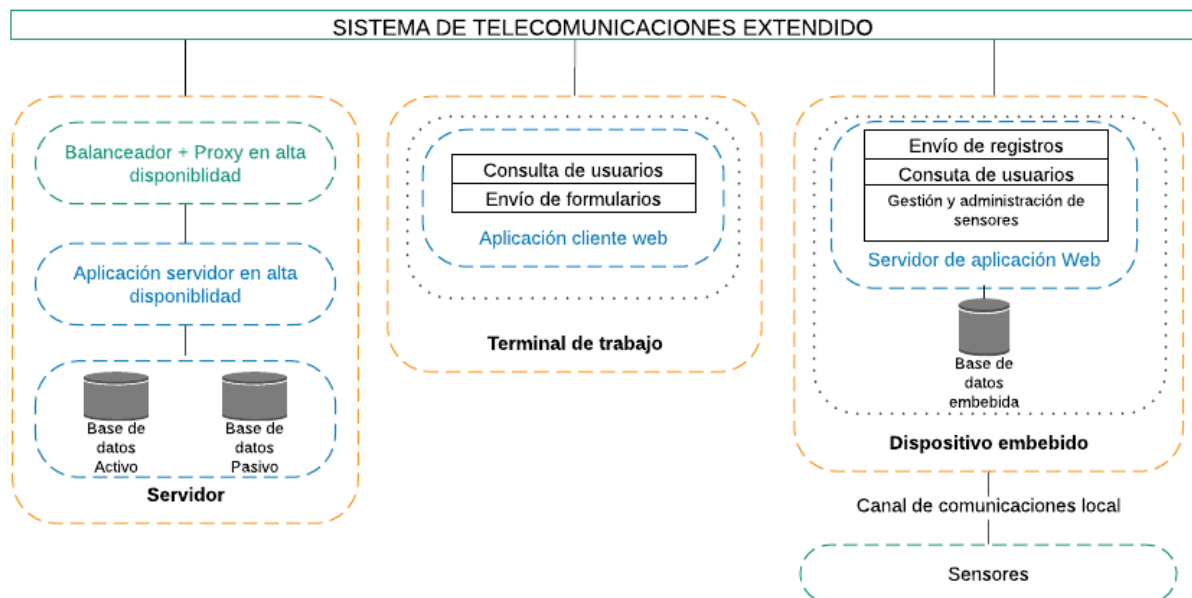


Figura 4-8.: Descripción funcional general del modelo de Sistema

Fuente: Adaptado de Wood [2007]

5. Diseño del prototipo de plataforma tecnológica

A partir de los resultados del proceso de caracterización del estado tecnológico y de operación logística de la fresa en Cundinamarca, Colombia, se realiza la construcción del modelo conceptual de arquitectura IoT teniendo en cuenta los hallazgos realizados en las etapas de:

- Evaluación del estado tecnológico.
- Definición del modelo conceptual de plataforma para la identificación de componentes.
- Revisión del estado del arte de la cual se obtienen las tendencias en uso plataformas, protocolos, dispositivos de sensado, lenguajes y APIs de desarrollo entre otros aspectos.

5.1. Consideraciones

- En cuanto a infraestructura, luego del proceso de caracterización realizado en la capítulo 3, se hace la representación de las tecnologías disponibles a lo largo de la cadena, en la que se hace énfasis en las tecnologías de comunicación inalámbricas principalmente la red de telefonía celular. Debido a limitaciones de costos, disponibilidad de infraestructura, en principio no se podrá hablar de conectividad ubicua en términos rigurosos a pesar de disponer a través de toda la cadena de suministro alguna forma de acceder al backbone (infraestructura principal de comunicaciones) para el consumo de servicios en la nube.
- Debido a la poca experticia de los actores en el uso de herramientas tecnológicas como Smartphones, las soluciones tecnológicas que se implementen requieren de interfaces de usuario amigables y de fácil manipulación con el propósito que este aspecto no se convierta en una barrera para su implementación.
- Los dispositivos de lectura de códigos deben ser de fácil manipulación y de lectura rápida que utilicen una codificación estándar como el GTIN de GS1 lo cual puede facilitar los procesos internos al igual que permitirá procesos de exportación al ser un requerimiento obligatorio.

Finalmente a partir del modelo que se proponga se dará inicio a la construcción del prototipo funcional.

5.2. Metodología

Dando continuidad a la metodología ADD pero ahora con un enfoque hacia el desarrollo Orientado a Prototipos (DOP) que permita la construcción de un prototipo funcional de sistema de trazabilidad bajo ciertas restricciones, como lo son tiempos y costos bajos. La metodología DOP permite la construcción de una herramienta que habilita la evaluación del comportamiento parcial o total del modelo propuesto a nivel de requerimientos funcionales sin las implicaciones que tendría el desarrollo de un sistema bajo una metodología rigurosa en términos de documentación, levantamiento de requerimientos de manera detallada, actas de inicio y cierre entre otros aspectos (ver figura 5-1). Las etapas de construcción y evaluación de desarrollan en el capítulo 6 como etapas de la implementación de la metodología DOP.

5.3. Etapa de Análisis y especificación de requerimientos

El prototipo propuesto estará enmarcado bajo una arquitectura cliente servidor construido a partir de una propuesta de investigación sincrónica producto de la experticia en las áreas del desarrollo de aplicaciones, sistemas embebidos y redes de datos por parte del autor.

Para la elaboración de un diseño de baja resolución se hace uso de la herramienta de virtualización IoTIFY¹ la cual permite el desarrollo de aplicaciones IoT. Esta herramienta es de uso libre, para uso académico proporcionan un laboratorio virtual y simulador IoT adecuado para la evaluación de alternativas tecnológicas, compatibilidad de componentes antes de realizar cualquier adquisición de equipos o paquetes de software.

Una vez realizadas las pruebas sobre un prototipo virtual con las respectivas especificaciones se opta por la utilización de computadores de placa reducida Raspberry PI y la plataforma Node-Red.

5.3.1. Parametrización del sistema

Alcance del Sistema

- **Amplitud:** temperatura, humedad, localización , identificación, vibraciones e impactos.
- **Profundidad:** Se delimita desde la puerta de la finca hasta el centro de acopio.
- **Precisión:** canastilla de fresa.

¹<https://iotify.io/>

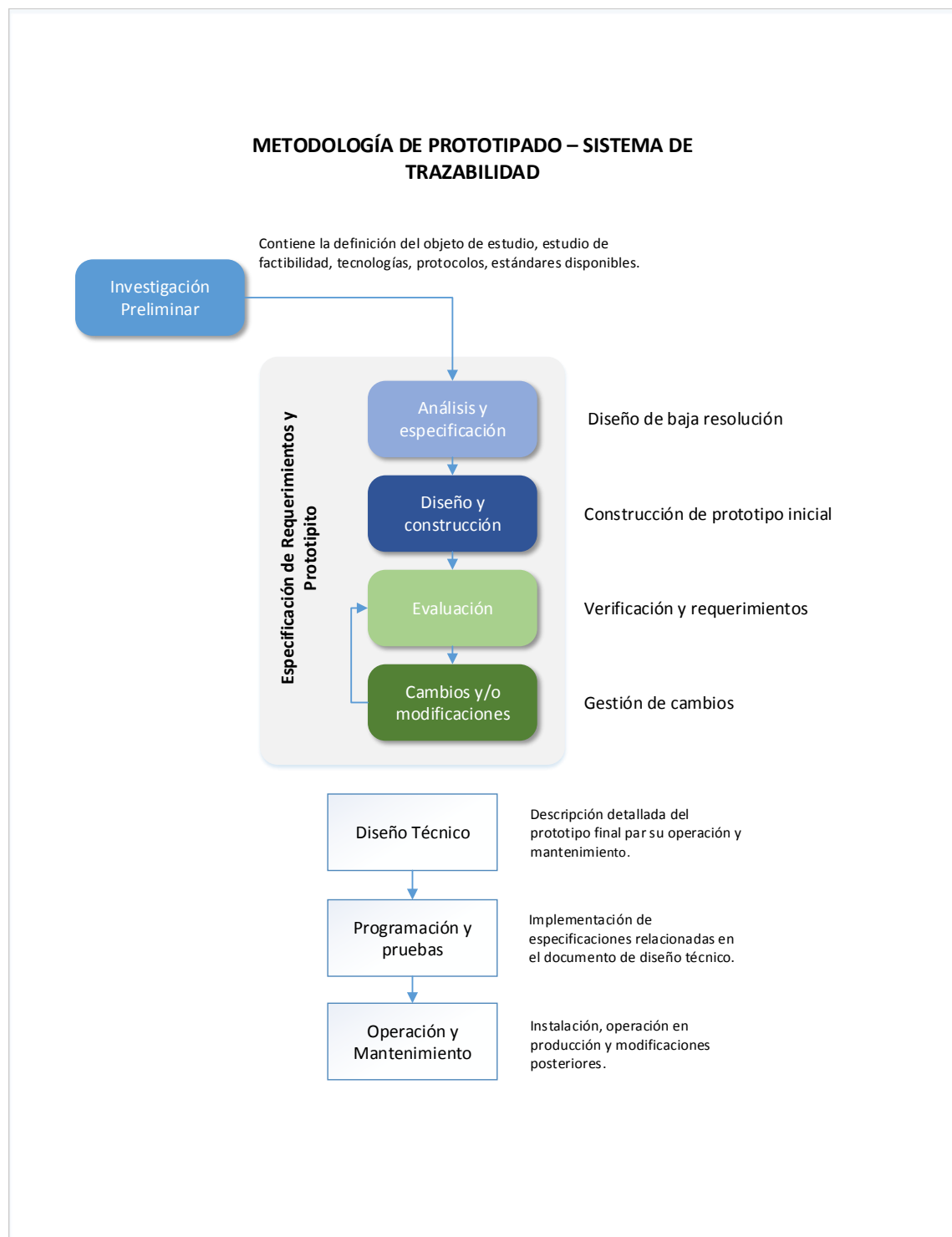


Figura 5-1.: Metodología Orientada a Prototipos

5.4. Modelo conceptual de arquitectura IoT

Con el propósito de visualizar el vínculo entre los objetos reales y su asociación a elementos virtuales que no se limita únicamente a la asignación de un código único sino también a la asignación de estados y/o comportamiento, característica fundamental de cualquier sistema IoT. En la figura 5-2 se puede apreciar lo anteriormente mencionado, adicionando la capa de infraestructura indicando la importancia que debe tener el sistema al momento de operar bajo diferentes tecnologías de acceso al medio, haciendo referencia a elementos de la capa física del modelo de referencia TCP/IP. A través de configuración de diferentes configuraciones de nodo el dispositivo agregará, según las necesidades el contexto, funcionalidades que permitirán desde el acceso a sensores hasta la posibilidad de envío de los datos de los sensores a cualquier aplicación en Cloud. Finalmente en la capa de procesos, se indica los múltiples usos que tendrá el dispositivo embebidos como: elementos instalados en camiones de transporte que hará uso principalmente de las redes de datos móviles para el envío de los registros, dispositivo instalado en centro de acopio para el manejo de inventarios y que dada la no variabilidad en términos geográficos de su lugar de operación podrá hacer uso de medios de tecnología fija de acceso a internet, como es el caso de redes de fibra óptica, enlaces satelitales entre otros.

5.5. Diseño del prototipo - Sistema Embebido

Mediante la implementación de un conjunto de nodos se realiza la captura de datos, almacenamiento, transmisión, procesamiento y posterior presentación según su contexto, ya que el procesamiento se podría dar previamente a la transmisión, utilizando como referencia la figura 5-4 y siguiendo un enfoque de IoT EDGE o Internet de las Cosas en el borde. Se describe el diseño y construcción de un sistema que proporciona en tiempo real servicios de posicionamiento y rastreo, medición de temperatura, humedad, velocidad, mediciones indirectas a partir de un acelerómetro y giroscopio y etiquetas. La solución tecnológica comprende dos componentes: Dispositivo de trazabilidad (sistema embebido) y servidor back-end. El dispositivo de trazabilidad tiene la capacidad de hacer uso del stack TCP/IP para el establecimiento de conexiones asociadas a los registros en el servidor de back-end. Con el fin de desarrollar una arquitectura para un sistema de trazabilidad siguiendo el enfoque de IoT EDGE, se realiza la configuración de los protocolos de aplicación para la conexión entre el dispositivo y el back-end, el cual está conformado por componentes de AWS, CARTO y PUBNUB dado que Node-Red soporta el stack *restful*, utilizado por el dispositivo para el envío de registros con una frecuencia ajustable en formato de intercambio *json* el cual contiene las lecturas de todas las sensoriales del dispositivo, también provee una página web para acceder desde una Tablet o Smartphone que haga la función de estación base de una red WiFi al dispositivo. A continuación se realiza la descripción de la tipología de nodos desarrollados siguiendo los lineamientos de la arquitectura propuesta según la capa en la que

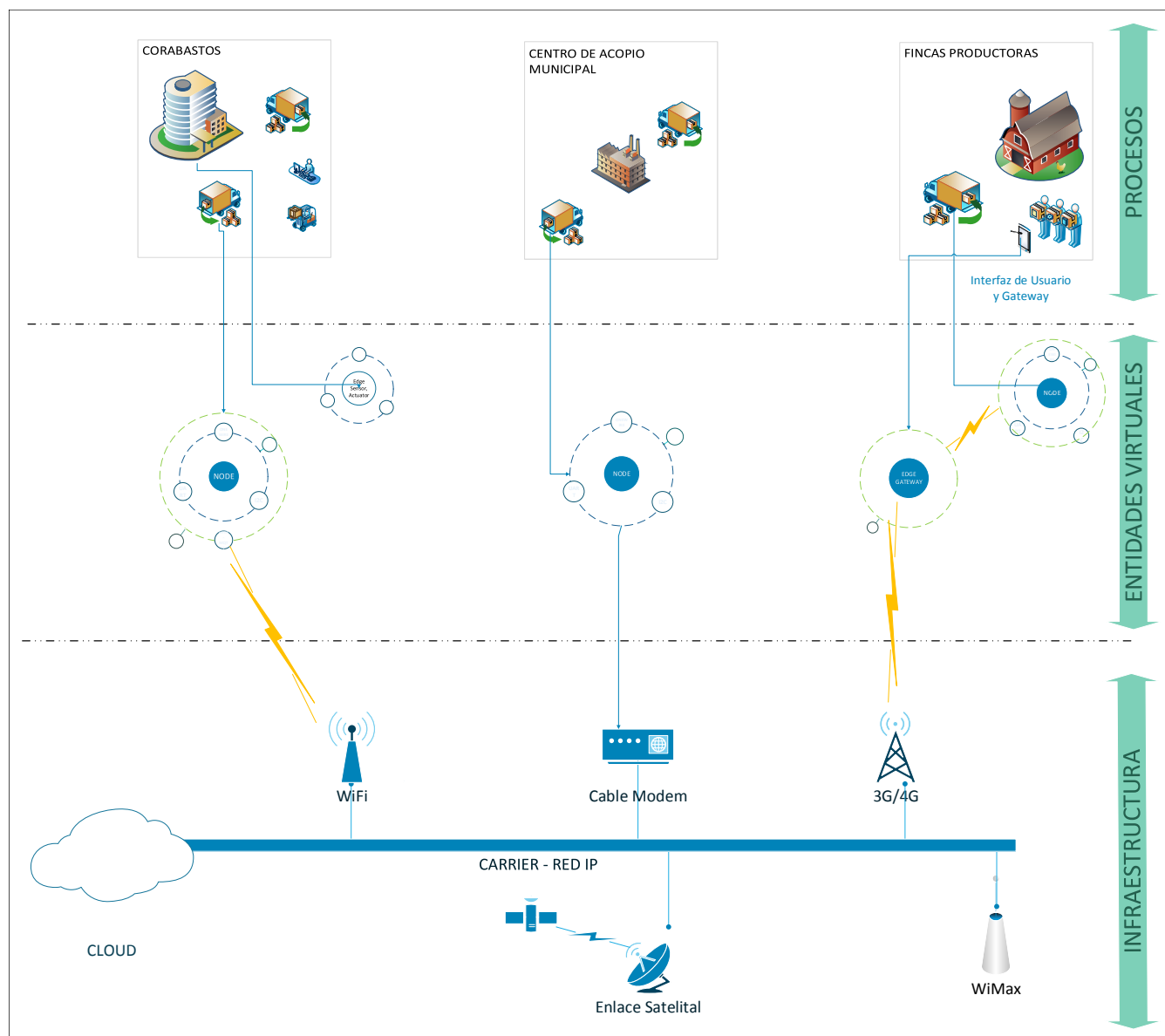


Figura 5-2.: Modelo conceptual de arquitectura IoT

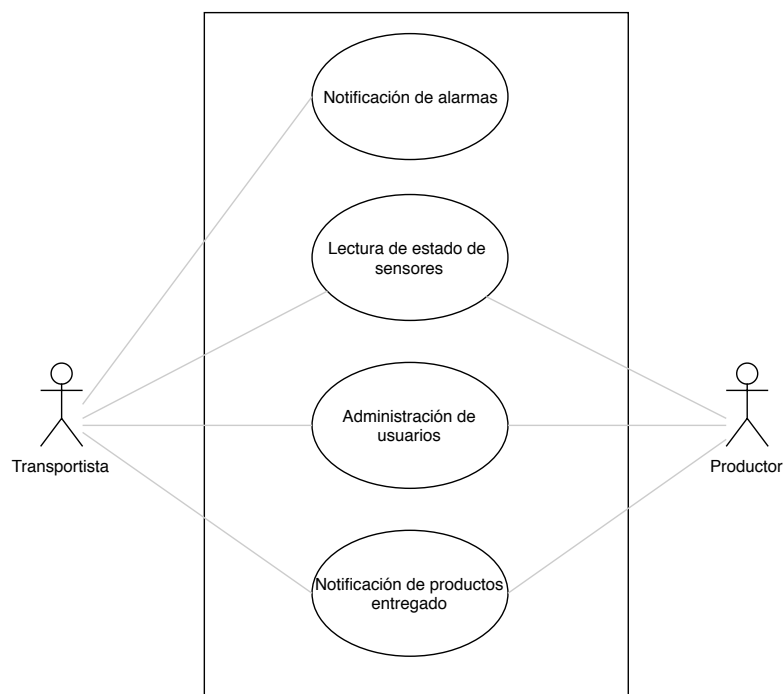


Figura 5-3.: Diagrama de Casos de Uso para sistema embebido

se encuentren.

5.5.1. Casos de uso del sistema

Resultados de la caracterización del proceso logístico de la fresa se encuentran los roles y operaciones que se deben realizar sobre el sistema. Para este proceso se realizaron diferentes actividades con el fin de conocer la dinámica, modos y medios del proceso logístico de la fresa, es importante resaltar la importancia de la organización por parte de los actores, principalmente productores, con el fin de viabilizar la implementación del sistema propuesto. Producto de éste ejercicio se construyeron los diagramas de casos de uso para la aplicación en Cloud (ver figura 5-8) y dispositivo embebido (ver figura 5-3).

Se propone que el módulo de trazabilidad desarrollado haga parte de un sistema para la toma de decisiones con el fin de potenciar la aplicación. Para el presente caso se ha desarrollado sobre un lenguaje de cuarta generación para prototipo rápido funcionando sobre una instancia EC2 de Amazon.

5.5.2. Nodos IoT

Para el presente prototipo se definen tres tipologías de nodos que de manera coordinada realizaran la toma de datos, transmisión, procesamiento y posterior presentación según su contexto y ubicación dentro de la jerarquía, utilizando como referencia la figura 5-4 siguiendo

un enfoque de IoT EDGE o Internet de las Cosas en el borde dado el contexto de nodos operativos en zonas de cero conectividad a redes de telefonía celular.

Tipología de Nodos

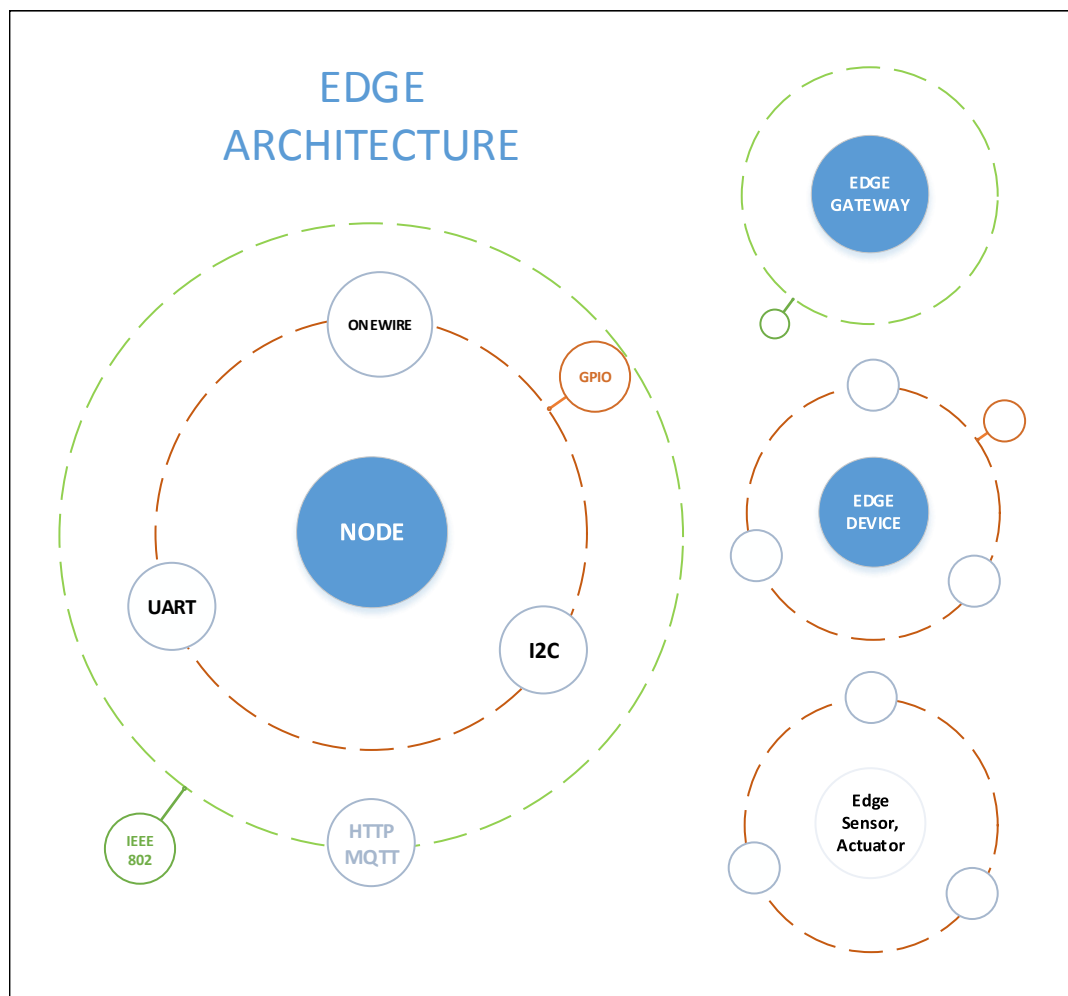
En la figura 5-4 que hace referencia a los protocolos e interfaces utilizados por los nodos IoT. Los nodos EDGE Gateway requieren el uso de interfaces definidas bajo el estándar IEEE 802.11 al proveer la definición a nivel físico, mencionando aspectos de señalización, codificación, voltajes, también provee control del acceso al medio direccionamiento a nivel de subcapa MAC y LLC, lo anterior permite el tráfico sobre IP para los protocolos de aplicación *MQTT* y *REST* utilizados para el envío de datos capturados por los nodos IoT hacia la nube.

Como SBC (por sus siglas Single Board Computers) se ha seleccionado la referencia Raspberry PI 3, dado que representa la alternativa comercial de procesamiento y almacenamiento en dispositivos embebidos más atractiva por su fácil adquisición, comercialización, configuración y de mayor compatibilidad en el mercado, la anterior soporta los protocolos *UART*, *i2c* y *onewire* utilizados por los módulos *GPS*, *NFC + ADXL345* y *DHT22* respectivamente (ver tal resumen de protocolos en la tabla 5-1)

Tabla 5-1.: Cuadro comparativo de protocolos a nivel de sensores

SENSOR	MODELO	PROTOCOLO	POWER SUPPLY	EXACTITUD	RANGO OPERACIÓN	DATASHEET
Temperatura y humedad	DHT22	ONE-WIRE	5 VDC	hum +2%; temp+0.5 °C	hum 0-100%RH; temp -4080 °C	https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf
Lector NFC	SL018	I ² C	5 VDC		-20 °C to +70 °C	http://www.stronglink-rfid.com/download/SL018-User-Manual.pdf
Giroscopio + acelerometro	ADXL34	I ² C	3.3 VDC		-40 °C to +85 °C	http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL343.pdf
GPS + GSM	SIM808	UART	5 VDC		-40°C to 85°C	http://simcom.ee/modules/gsm-gprs-gnss/sim808/

- **EDGE GATEWAY:** comprende dispositivos con capacidad de procesamiento, almacenamiento, memoria, fuente de poder de alta capacidad y soporte para la ejecución de sistema operativo. El rol de gateway o puerta de enlace para el modelo de arquitectura, es asumido por cualquier dispositivo que permita la opción de creación de puntos de anclaje WiFi, y que por medio del respectivo ISP (por su sigla Internet Service Provider) que le de salida a internet a los nodo.
- **EDGE DEVICES:** es un dispositivo de propósito general que soporta sistema operativo para dispositivos embebidos; en cuanto a la fuente poder no es de gran autonomía debido a su alta movilidad. Toma decisiones a partir de los cálculos que realiza sobre los datos de entrada tomados de los sensores y puede ejecutar comandos sobre los actuadores.
- **EDGE SENSOR Y ACTUADOR:** comprende dispositivos de propósito especial o particular, no portan la ejecución de sistema operativo

**Figura 5-4.:** Tipologia de Nodos

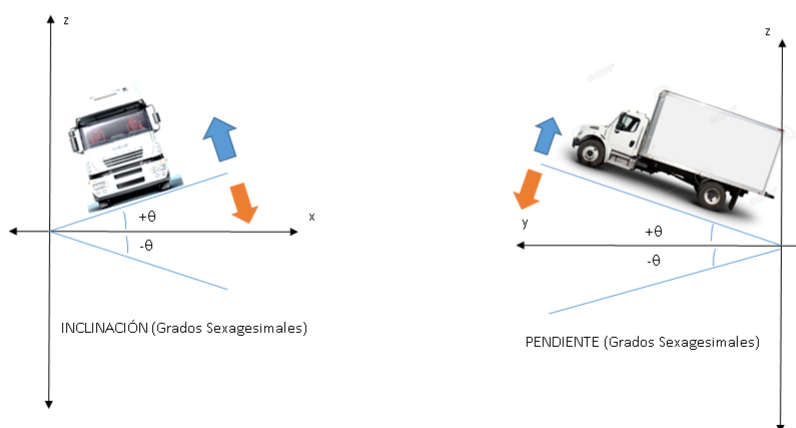


Figura 5-5.: Inclinación y pendiente

5.5.3. Capa de sensado

En la primera capa (*Sistemas embebidos y sensores*) el dispositivo Raspberry sensa de manera digital las lecturas de las variables a través de un conjunto de sensores instalados para la construcción del *rowdata* de la solución tecnológica el cual contiene los siguientes componentes:

Variables físicas

A partir de la utilización del sensor ADXL345 se puede obtener de manera indirecta valores de aceleración en los ejes x , y , z a partir de los datos del acelerómetro y giroscopio incorporados en el ADXL34. Variables como pendiente, inclinación (ver figura 5-5) y cambios en las fuerzas g sobre los 3 ejes se pueden obtener indirectamente a partir de la aplicación de funciones trigonométricas. De manera similar a partir de la resultante de las fuerzas en x , y , z se puede estimar aspectos como el de golpeteo al que se ve sometida la carga durante el transporte.

Mediante la implementación del sensor de humedad y temperatura DHT22 se puede obtener los valores de temperatura ambiente y humedad relativa. El sensor de temperatura y hume-

dad es un dispositivo que hace uso del protocolo de comunicaciones onewire cuya interfaz va conectada al GPIO de la Raspberry .

Georreferenciación - Adafruit Fona SIM808

El módulo de GPS - Adafruit Fona SIM808 hace uso de la red de satélites GPS, este nos permite acceder a los valores de posición en el sistema de coordenadas geográficas wgs84. Este componente electrónico es el encargado de recibir la información GPS de los satélites (Hora, Latitud, Longitud y Altitud). Debido a las limitaciones de alimentación del módulo, este dispositivo trabaja con antenas pasivas, es decir, antenas que no tienen una amplificación que permitan ganancia en la señal captada. Sin embargo, debido a que se tiene como requerimiento proveer al sistema de alta capacidad de recepción bajo ciertas condiciones se vio la necesidad el uso de antenas activas.

Autenticación - NFC SL018

Esta interfaz será utilizada con el objetivo de reconocer productos y usuarios de la cadena, mediante los registros almacenadas en el servidor local sincronizado con la aplicación en Cloud. La distancia de detección es de aproximadamente cinco centímetros del módulo para que este reconozca el código de identificación correctamente.

5.5.4. Capa de red - Topología de la red

El rol de *gateway* o puerta de enlace por medio de **EDGE GATEWAY** para el modelo de arquitectura es asumido por cualquier dispositivo que permita la opción de creación de puntos de anclaje WiFi, y que por medio del respectivo ISP le de salida a internet al nodo. Dada la heterogeneidad, amplitud y profundidad de la arquitectura propuesta, algunos nodos dependiendo de la disponibilidad de redes de telefonía celular, tendrán la capacidad de hacer uso de módulos GSM para el envío y recepción de datos a Internet sin depender de otros nodos. En la figura **5-6** se aprecia la topología de red compatible para la arquitectura propuesta, de igual modo se puede apreciar la interoperatividad de los nodos en donde algunos proveen servicios como es el caso de salida a internet para nodos que no disponen de esta funcionalidad como DEV-1 se apoya en DEV-3 para alcanzar la red WAN. Ya sea mediante la utilización de radio enlaces, puntos de fibra óptica, enlace satelital, redes de datos móviles el sistema debe estar en capacidad de alcanzar la nube y transferir parte del procesamiento que no se pueda realizar de manera local.

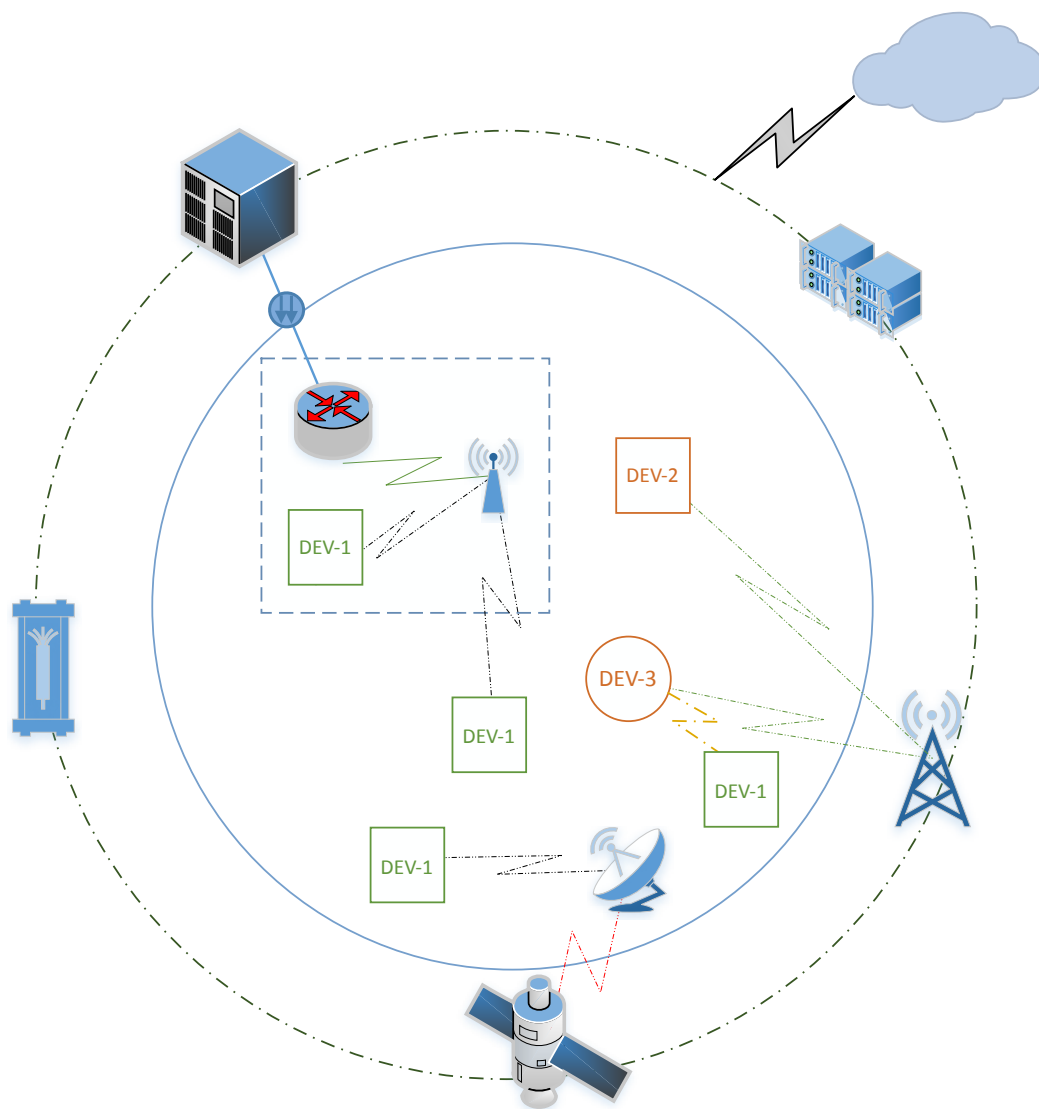


Figura 5-6.: Topologia

5.6. Diseño del prototipo - Capa Cloud

Esta capa provee los *microservicios* del DSS, aprovisionado sobre infraestructura de Amazon Web Services, para la visualización y generación de indicadores en las plataformas CARTO y APEX, en conjunción con *PUBNUB-eon* conectado a Mapbox para la generación de dashboard o tablero de control orientados a la localización en por medio de una arquitectura de publicación y suscripción similar al utilizado por el protocolo *MQTT* (ver figura figura 5-7). A los microservicios creados por las plataformas mencionadas acceden los EDGE devices de la capa de sensado para el envío de los registros almacenados en sus memorias locales, aprovechando las capacidades de almacenamiento y procesamientos de estos nodos.

5.6.1. Casos de uso

CASOS DE USO - MÓDULO DE TRAZABILIDAD

Nestor | September 17, 2017

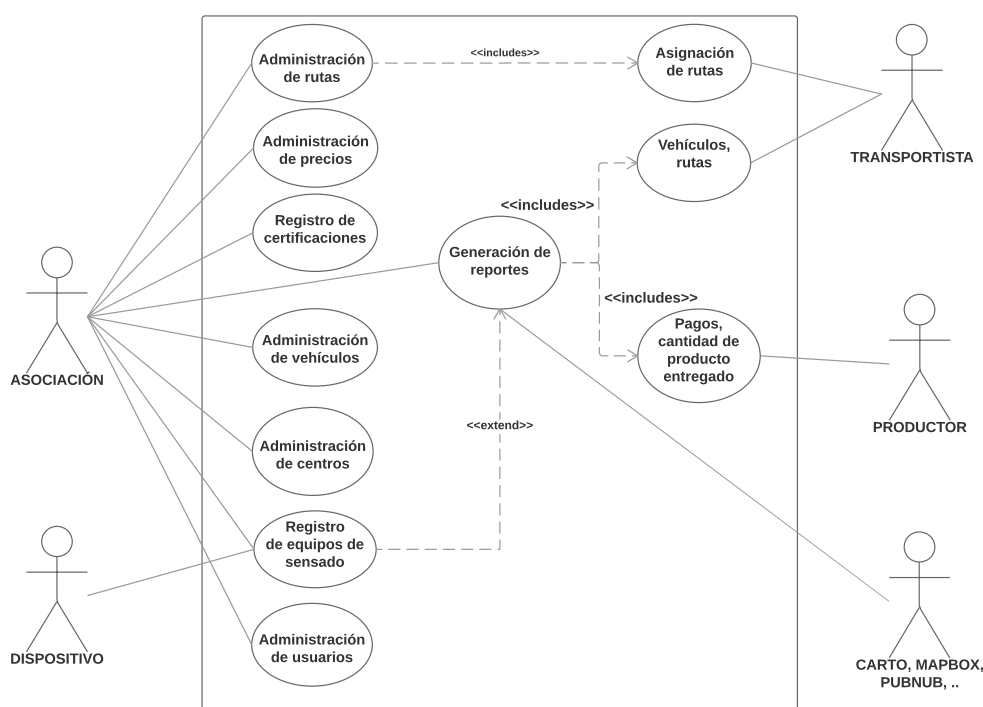


Figura 5-8.: Diagrama de Casos de Uso para módulo de trazabilidad de aplicación en Cloud

5.6.2. Gestión de datos

Datos no agregados y no enmarcados dentro de un contexto, no representan mayor valor para los stakeholders del proceso logístico. Este contexto a nivel de usuario, ver figura 2-9, requiere de procesos que gestionen grandes volúmenes de datos con el fin de ofrecer mejor

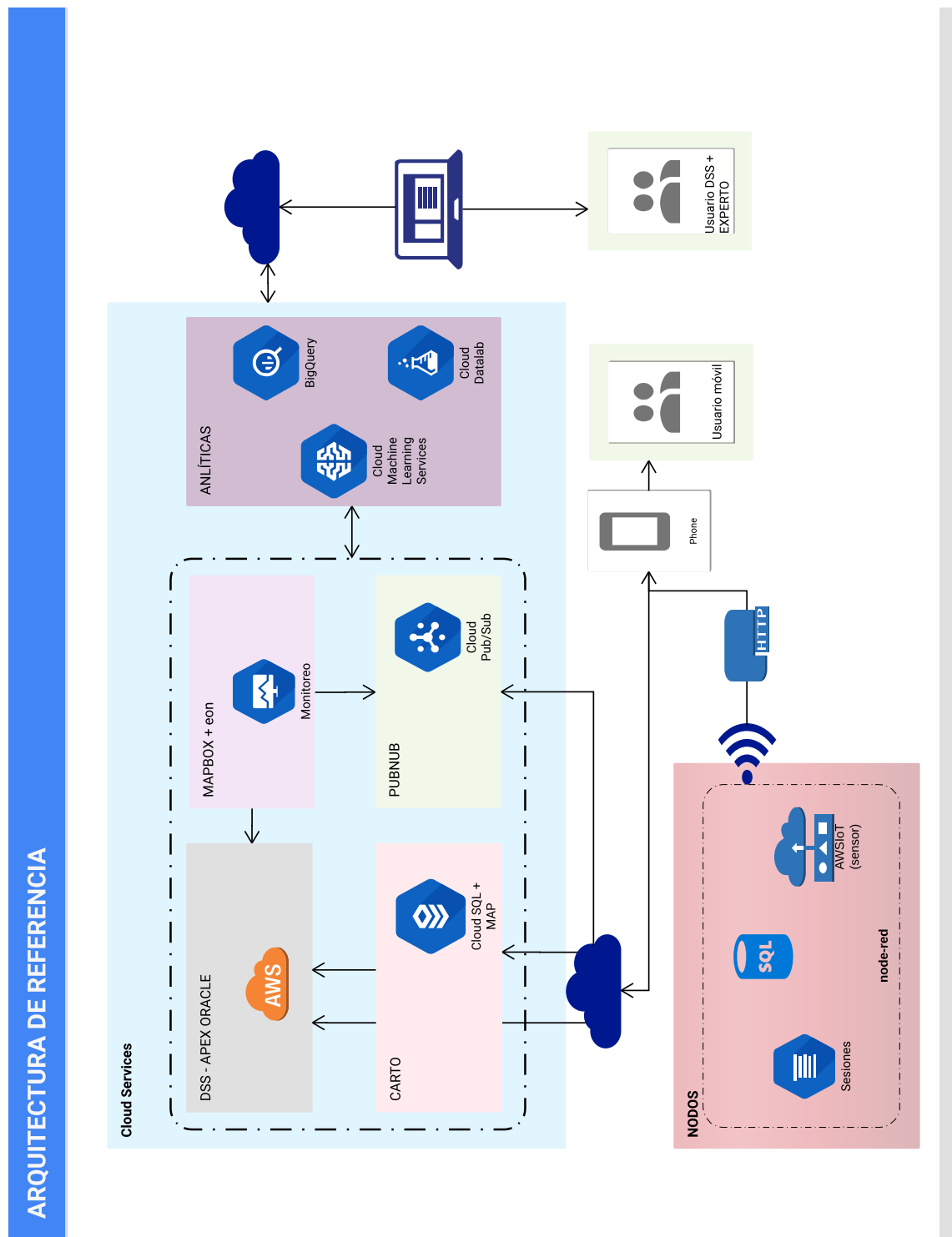


Figura 5-7.: Arquitectura de referencia

productos y servicios, toma de decisiones e inteligencia de negocios tal como manifiestan Duan y Xu referidos en Pang et al. [2015]. Dependiendo del usuario ya sea productor, consumidor y asociación se crean los siguientes formatos de presentación haciendo variaciones en cuanto al nivel de abstracción, procesamiento y agregación:

- **Consumidor:** calidad del producto, procedencia, tiempo de vida.
- **Productor:** contabilidad, visibilidad de sus productos.
- **Asociación:** manejo de inventarios, trazabilidad, monitoreo de variables de control de calidad , alarmas.
- **Mayorista:** procedencia y calidad de los productos, trazabilidad, manejo de inventarios, monitoreo de variables de control de calidad , alarmas.

Todo la información requerida será obtenida a partir de las lecturas de los diferentes sensores, registros de reloj de GPS y servidor local, al igual que por cálculos indirectos basados en localización.

6. Implementación de prototipo de plataforma para la validación tecnológica

En términos generales se requiere de dos ambientes de procesamiento y almacenamiento de datos, uno en Cloud y el otro sobre un sistema embebido. Lo anterior tiene la implicación de desarrollo de dos componentes de software (ver figura 5-7). El sistema embebido representa los elementos de vértice del modelo de sistema encargado de medir las diferentes variables a través de un conjunto de sensores, de ahí provendrá el *rowdata* que servirá como insumo para el Sistema de Trazabilidad aprovisionado en AWS. El componente en cloud habilitará la visualización y generación de indicadores en la plataforma CARTO y generación de dashboard o tablero de control basados localización en PUBNUB y Mapbox.

6.1. Sistema embebido

6.1.1. HARDWARE

La búsqueda extensiva de tecnologías adecuadas para la implementación de los modelos de trazabilidad expuestos hasta el momento, ha llevado al desarrollo de sistemas expertos en la recolección de datos, uno de los grandes retos que afrontan los mismos es su portabilidad, autonomía y capacidad de funcionamiento en modo offline. El computador de placa reducida o SBC a Raspberry Pi, ha mostrado alta capacidad para el desarrollo de sistemas de este tipo, gracias a sus variadas prestaciones, relativo bajo consumo energético, reducidas dimensiones físicas y bajo costo. De igual forma, el hecho de que Raspberry Pi cuenta con múltiples protocolos de comunicación (UART, i2c, SPI, Onewire), permite gran flexibilidad en el uso de los diferentes módulos usados para la captura de datos y su posterior transmisión. Por tanto, esta SBC cumple con los requerimientos para ser un nodo de red descentralizado de trazabilidad, lo anterior significa tener la capacidad de actuar como generador y consumidor de servicios informáticos junto a la posibilidad de retransmitir datos a otros nodos. Como EDGE Gateway se ha configurado un dispositivo celular Referencia Lenovo Vibe A6020l36 para habilitar un punto de anclaje WiFi haciendo el puente entre los protocolos 802.11 y 3G ó 4G a modo de PAN (por su siglas Personal Area Network), de esta forma el dispositivo de trazabilidad estará en capacidad de enviar los registros al módulo de trazabilidad en Cloud.

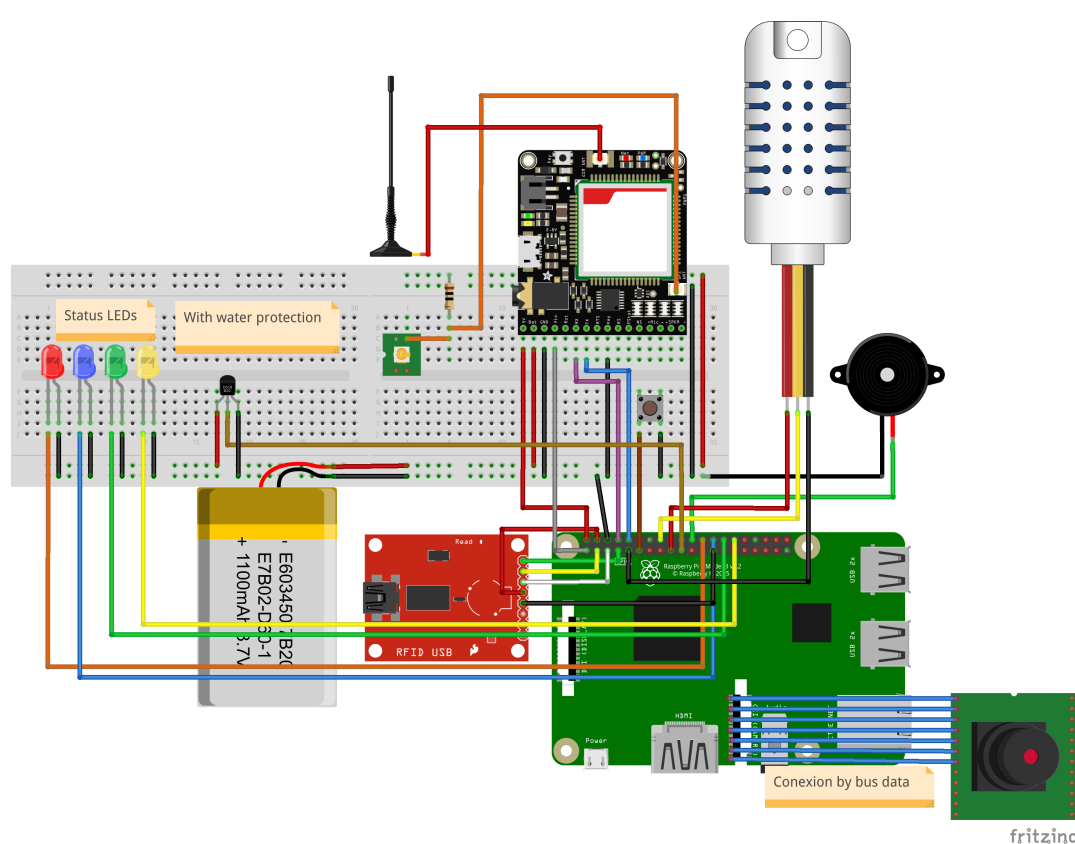


Figura 6-1.: Esquemático de nodo

PINOUT de nodo

Estos elementos fueron conectados mediante los diferentes puertos GPIO con los que cuenta la Raspberry Pi 3, usando en cada uno el respectivo protocolo de comunicación necesarios para su correcto funcionamiento. Un esquemático de las conexiones internas del dispositivo se encuentran en la figura 6-1.

El tren de carga está compuesto por dos baterías de ion litio, la principal tiene una capacidad 10400mAh, voltaje de salida de 5V a 2A y una batería secundaria de 1100mAh encargada de proveer energía a la antena activa del GPS, al igual que al circuito electrónico que la controla (ver tabla resumen asociada a tren de carga en 6-1). En la parte superior de izquierda a derecha aparecen la antena activa, el módulo GPS y en seguida el sensor de temperatura y humedad DHT22. En la parte inferior de izquierda a derecha se tiene la batería de ion litio para la antena activa, en rojo en lector NFC seguido la SBC Raspberry Pi 3. La PCB (por sus siglas Printed Circuit Board) utilizado para el montaje de todos los componentes se puede apreciar en la figura 6-2.

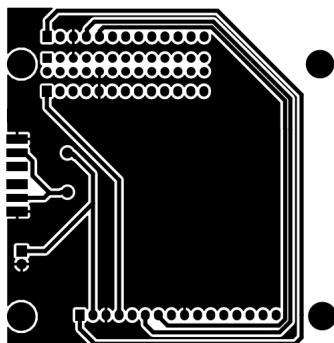


Figura 6-2.: PCB del prototipo

Tabla 6-1.: Voltajes de componentes

Los voltajes y amperajes indicados fueron tomados de los datasheets mencionados en 5-1

SENSOR	MODELO	VOLTAJE MÁX	VOLTAJE MÍN	AMPERAJE MÁX	AMPERAJE MÍN
Temperatura y humedad	DHT22	3.3 VDC	5 VDC	1.25 mA	1 mA
Lector NFC	SL018	3.3 VDC	5 VDC	26 mA	13 mA
Giroscopio + acelerometro	ADXL34	2 VDC	3.3 VDC	140 μ A	140 μ A
GPS + GSM	SIM808	3.4 VDC	5 VDC	2 A	500 mA
Raspberry	Pi 3	5 VDC	5 VDC	1 A	2 A
Antena activa		3.3 VDC	3.3 VDC		

6.1.2. SOFTWARE

Para el desarrollo de la presente sección se hace una descripción de generalidades en cuanto a funcionamiento de los nodos IoT, la revisión del pool de funciones no se realizará de manera exhaustiva, se mostrará la configuración de una de las funciones externas, de esta forma se puede hacer generalización a las restantes funciones, del mismo modo referente a funciones internas. Este proceso se realizará tanto para los componentes de software de los nodos IoT como para el módulo de trazabilidad del DSS en AWS. Las dos aplicaciones utilizan modelos de datos relacionales.

Nodos

Para el desarrollo de la aplicación de los nodos se hizo uso de la herramienta de programación basada en flujos Node-Red¹ desarrollada por IBM para el IoT. Node-Red se encarga de orquestar el funcionamiento de cada nodo. Por medio de la ejecución de scripts desarrollados para el funcionamiento de cada uno de los sensores y con la ejecución de cada uno de estos adquiere los respectivos valores que serán visualizados en la interfaces de usuario locales y remotos, de igual modo provee los drivers para la conexión con el gestor de bases de datos *SQLite* para el almacenamiento de los registros; también provee las funciones necesarias para

¹<https://nodered.org/about/>

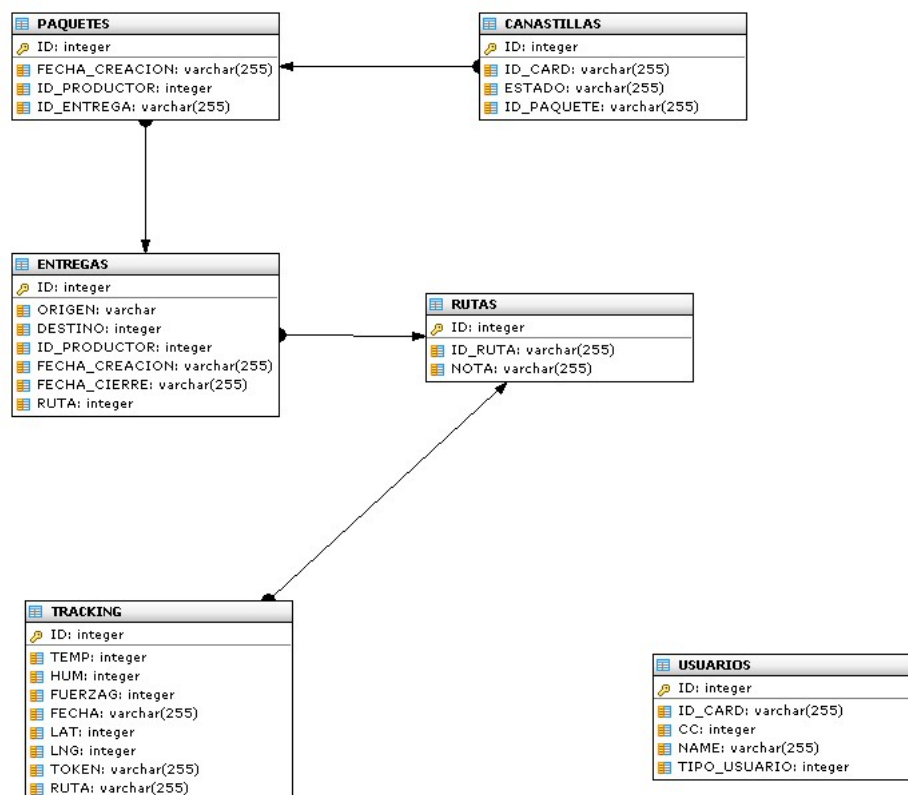


Figura 6-3.: Modelo de Datos

el acceso a servicios restful mediante los cuales se hace el envío de registros a los servicios en *Cloud* ya sea de manera síncrona o asíncrona. Node-Red provee las herramientas para la construcción de una interfaz de usuario Web acceder por el protocolo http para la gestión y administración de los nodo.

Modelo de datos

Estados de nodos

Cada nodo IoT está comprendido de un dispositivo con capacidad de procesamiento y almacenamiento, sobre el que a nivel lógico se ha implementado un sistema basado en una máquina de estados finitos (ver figura 6-4) que dependiendo de unas condiciones de entrada, algunas definidas por el usuario y otras automáticas permite la transición entre posibles estados de aceptación. El nodo IoT envía registros al módulo de trazabilidad en formato de intercambio *json* a través del protocolo *resful* ejecutado sobre la capa de aplicación http del modelo de referencia TCP/IP.

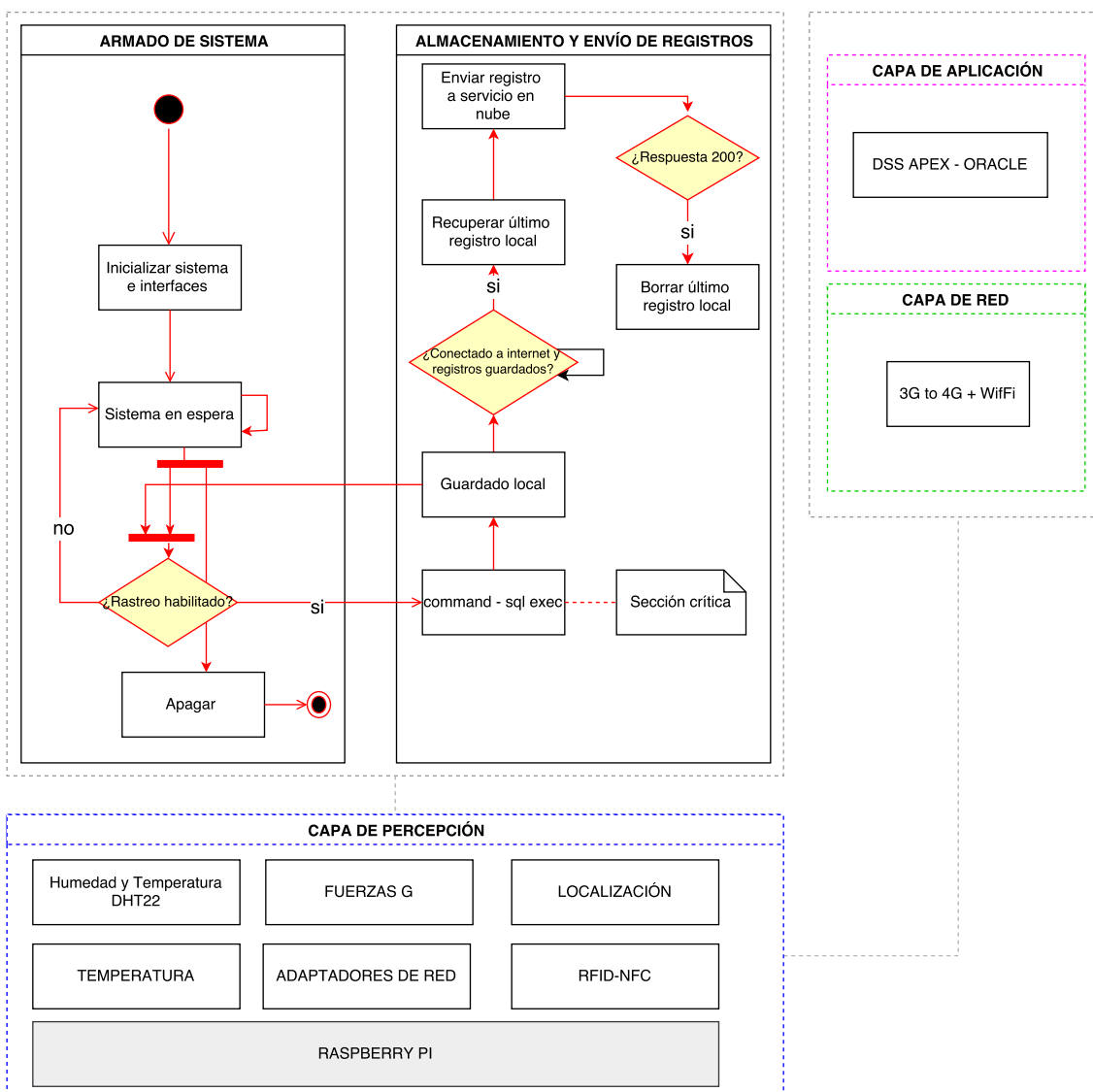


Figura 6-4.: Diagrama de estados

Funciones de los nodos

Básicamente la programación de cada dispositivo embebido está conformada por bloques funcionales agrupados en: disparadores, funciones externas e internas y bloques de visualización tal como se puede apreciar en la figura 6-5. Los bloques disparadores permiten la ejecución de hilos de procesos con frecuencia de disparo como único parámetro de entrada, con la opción de permitir la ejecución del proceso el momento de iniciar el sistema. Cuando se requiere el uso de funciones avanzadas y que no se encuentran pre-configuradas en los bloques funcionales internos de Node-Red, se hace uso del llamado a funciones externas, es estos bloques se lanzan scripts en cualquier lenguaje de programación soportado por Rasp-

bian, generalmente son scripts en lenguajes de bajo nivel tipo C aunque también es frecuente el uso del lenguaje de programación Python. Para el presente prototipo se hace uso de funciones de Python para la gestión y administración del módulo GPS, giroscopio, lector NFC y un sensor auxiliar de temperatura tipo sonda (ver ejemplo de código fuente 6.1.2). Las funciones internas son bloques de Node-Red preconfigurados que proveen herramientas de uso frecuente, permiten la creación de funciones personalizadas únicamente en lenguaje JavaScript. Los bloques de visualización permiten la configuración de componentes gráficos que pueden ser consumidos a través de http (ver figuras **6-7,6-8**).

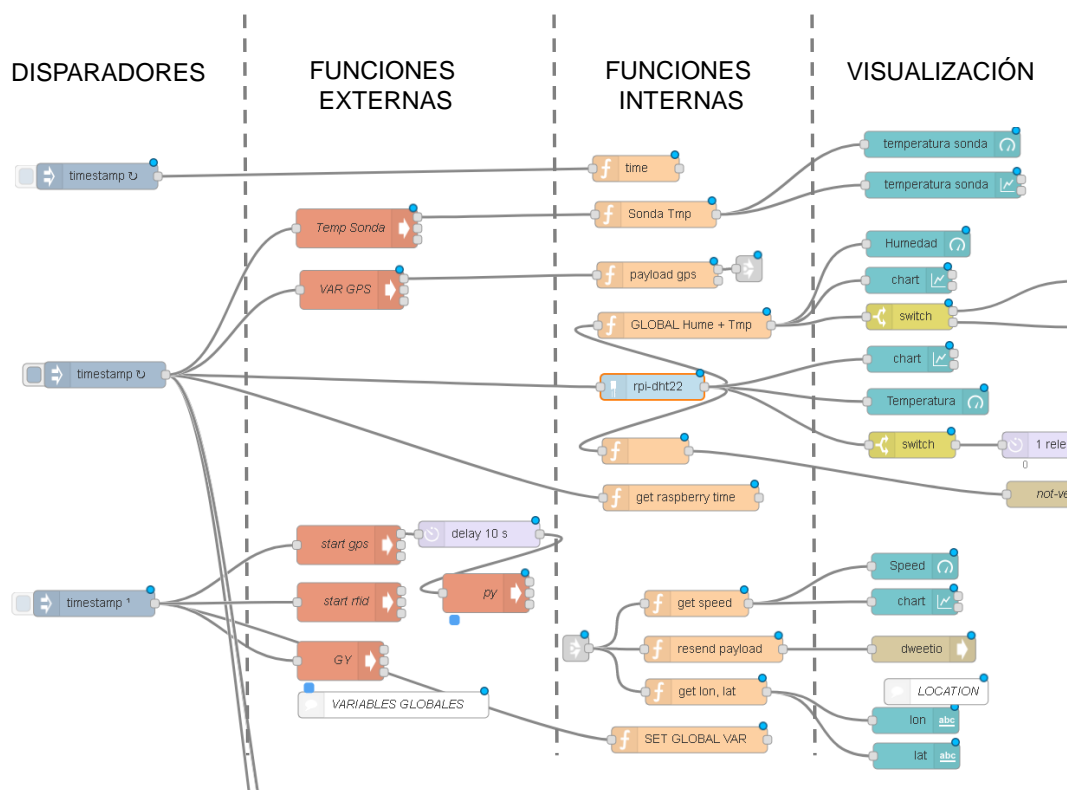


Figura 6-5.: Funciones de node-red

Llamado de funciones de python para lectura de sensores

```
1 import os                # import os module
2 import glob              # import glob module
3 import time              # import time module
4 import RPi.GPIO as GPIO
5
6 os.system('modprobe w1-gpio')      # load one wire communication device
    kernel modules
```

```

7 os.system('modprobe w1-therm')
8 power = 7;
9 GPIO.setmode(GPIO.BCM);
10 GPIO.setup(power,GPIO.OUT);
11 GPIO.setwarnings(False)
12
13 base_dir = '/sys/bus/w1/devices/' # point to the address
14 device_folder = glob.glob(base_dir + '28*')[0] # find device with
    address starting from 28*
15 device_file = device_folder + '/w1_slave' # store the details
16 def read_temp_raw():
17     f = open(device_file, 'r')
18     lines = f.readlines() # read the device details
19     f.close()
20     return lines
21
22 def read_temp():
23     lines = read_temp_raw()
24     while lines[0].strip()[-3:] != 'YES': # ignore first line
25         lines = read_temp_raw()
26     equals_pos = lines[1].find('t=') # find temperature in the
    details
27     if equals_pos != -1:
28         temp_string = lines[1][equals_pos+2:];
29         temp_c = float(temp_string) / 1000.0; # convert to
    Celsius
30         temp_c = round(temp_c,1);
31         return temp_c;
32
33 GPIO.output(power,GPIO.HIGH);
34 print(read_temp()) # Print temperature
35 GPIO.cleanup() ##clean GPIO

```

Envío de registros

En la figura 6-6 se muestra como a partir de la interconexión de diferentes módulos se pueden crear flujos de trabajo en este caso el utilizado para el envío de registros. Basado en el paradigma de programación funcional Node-Red permite la creación de funcionalidades tan complejas como se deseen. A partir de los eventos generados por un disparador, configurado con una frecuencia de ejecución determinada, se realiza una consulta sql a la base de datos local previa validación de base de datos con registros y verificación de conectividad a internet. Posteriormente se realiza la estructuración de los datos recuperados en formato json y finalmente se realiza el post hacia el módulo de trazabilidad en Cloud.

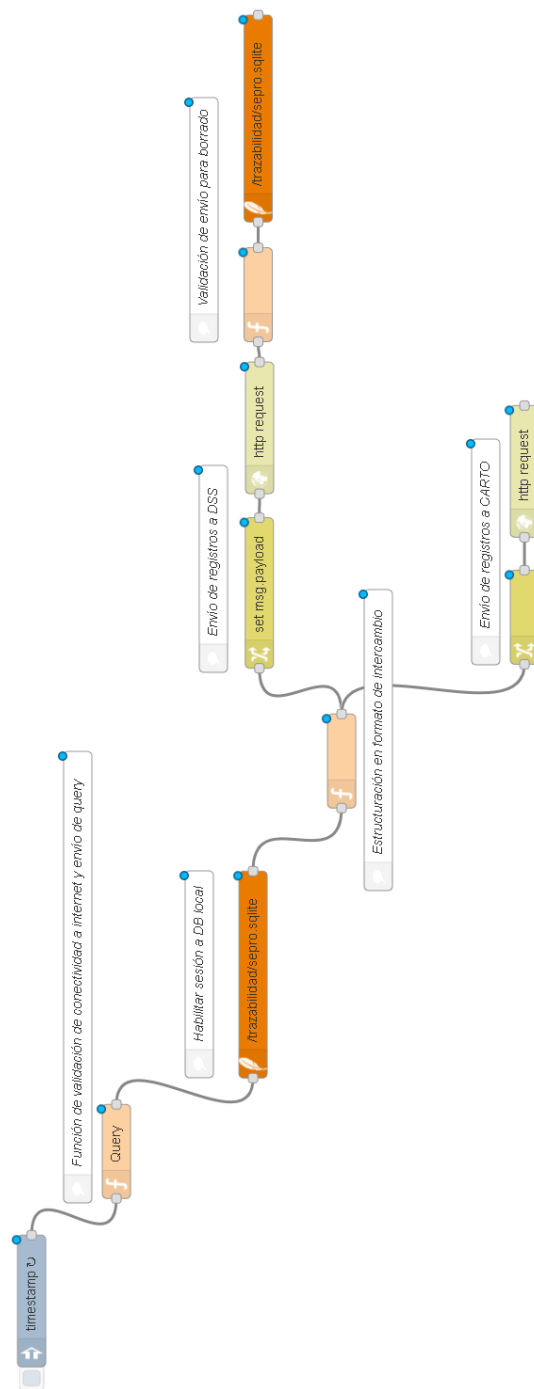


Figura 6-6.: Etapas para envío de datos

Función de estructuración en formato de intercambio json

Mediante la lectura de variables provenientes de sensores, se realiza la configuración del POST a partir de la estructuración del mensaje a ser convertido en formato json por el módulo http request de Node-Red. Un ejemplo de entrada para el módulo http request puede ser el generado por la función java script que aparece a continuación.

```

1
2   var id = global.set("ID", msg.payload[0].ID);
3   var NAME = msg.payload[0].ID;
4   var TEMP = msg.payload[0].TEMP;
5   var HUM = msg.payload[0].HUM;
6   var FUERZAG = msg.payload[0].FUERZAG;
7   var FECHA = msg.payload[0].FECHA;
8   var EPOCH = msg.payload[0].EPOCH;
9   var LAT = msg.payload[0].LAT;
10  var LNG = msg.payload[0].LNG;
11  var RUTA = msg.payload[0].RUTA;
12  var VEL = msg.payload[0].VEL;
13  var FECHA_GPS = msg.payload[0].FECHA_GPS;
14  var PENDIENTE = msg.payload[0].PENDIENTE;
15  var INCLINACION = msg.payload[0].INCLINACION;
16  var TEMP_SONDA = msg.payload[0].TEMP_SONDA;
17  var PRODUCTO = msg.payload[0].PRODUCTO;
18  var GX = msg.payload[0].GX;
19  var GY = msg.payload[0].GY;
20  var GZ = msg.payload[0].GZ;
21
22  //send to dss oracle apex
23  msg.opt = {'token': '123' , 'ruta': RUTA.toString() , 'temp':
    TEMP.toString() , 'hum': HUM.toString(), 'fuerzag':
    FUERZAG.toString() , 'vel': VEL.toString() , 'fecha': FECHA , '
    lat': LAT.toString() , 'lng': LNG.toString() , 'horagps':
    FECHA_GPS.toString() , 'pendiente': PENDIENTE , 'inclinacion':
    INCLINACION};
24
25  //send to carto
26  msg.carto = "INSERT INTO acc (the_geom, name ,tmp , hum, fecha ,vel ,
    pendiente , inclinacion , fecha_gps , temp_sonda , producto ,
    gx , gy , gz) VALUES (ST_SetSRID(ST_Point("+ LNG + ","+ LAT +"),"
    + 4326 +")," + NAME + ","+ TEMP +","+ HUM +","+ EPOCH +","+ VEL
    +","+ PENDIENTE +","+ INCLINACION +","+ ""+FECHA_GPS+"" +","+
    TEMP_SONDA +","+ ""+PRODUCTO+""+","+ GX +","+ GY +","+ GZ+)"
    ;
27
28  return msg;

```

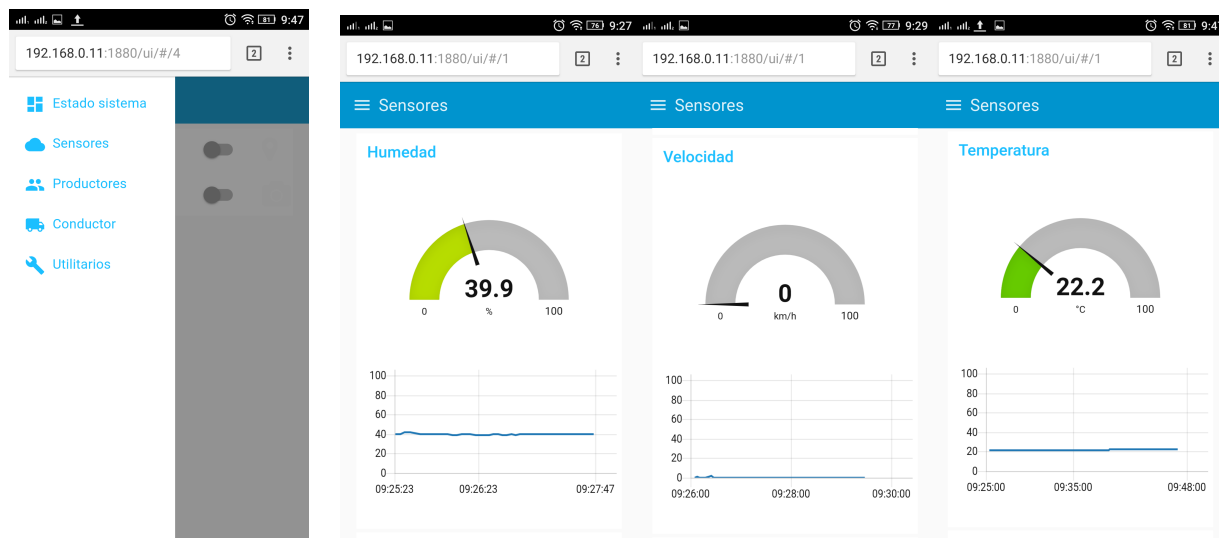



Figura 6-7.: Menú inicio (Sup), Variables (Inf)

Interfaz de usuario

La interfaz gráfica de estado de sistema embebido permite la lectura en tiempo real del estado del dispositivo (ver figura 6-8), la lectura de sensores (ver figura 6-7). Esta interfaz ha sido concebida con el único propósito de proveer información en tiempo real a través de interfaces de visualización, no está diseñada para la realización de funciones propias de sistemas para equipos de escritorio. Acorde a lo anterior no contiene campos visibles para el ingreso de texto mediante el uso de teclado.

6.2. Sistema en Cloud

6.2.1. Módulo de trazabilidad - AWS

El módulo de trazabilidad permite la interacción de los diferentes roles, con el fin de crear un medio para el intercambio de información a través de una plataforma web que además integre los datos enviados por los dispositivos de trazabilidad. Con el propósito de mostrar el funcionamiento del sistema se proponen varios escenarios factibles con los cuales se irá mostrando los protocolos, servicios, modelos de datos e interfaces implementadas. Cada nodo IoT tiene asociado un token de carácter único que corresponder a un varchar de 255 bits el cual se encuentra registrado en la aplicación, representa un componente de seguridad básico al proveer un atributo para autenticación y además permite al sistema validar los servicios según el origen de la petición.

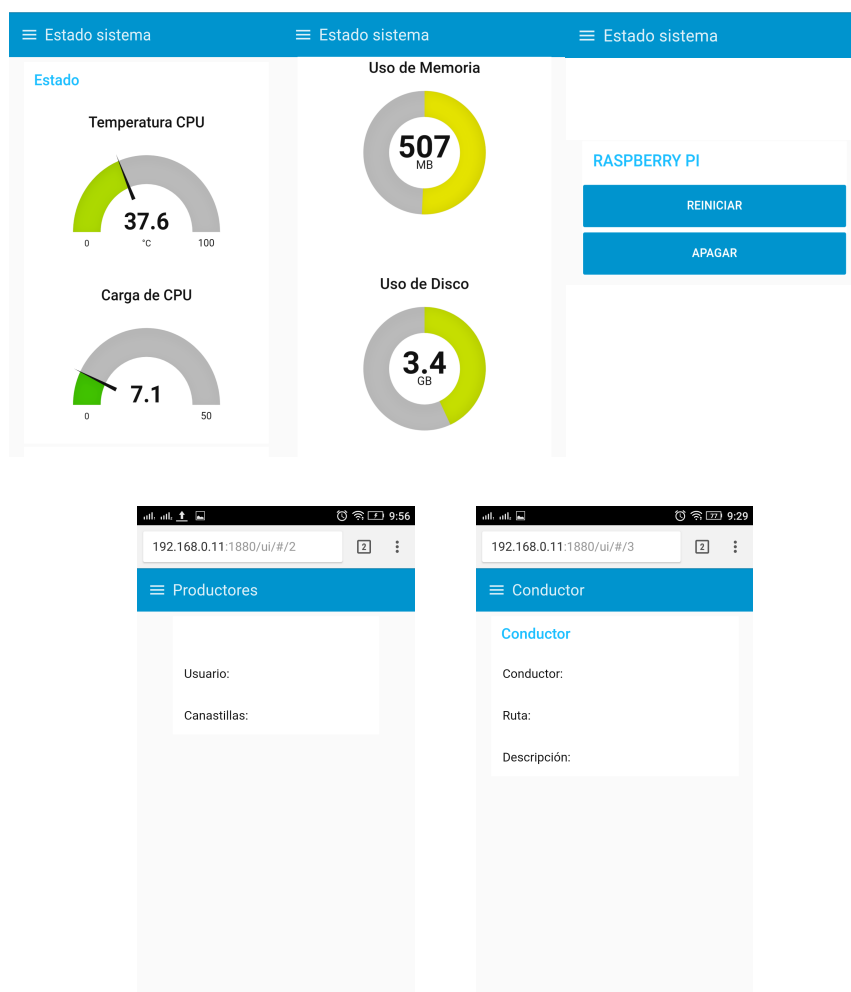


Figura 6-8.: Estado del sistema + Vista de productor y conductor

6.2.2. Escenarios de pruebas

Escenario 1 - Inicio de recorrido

Al inicio de la jornada de trabajo para el transportista, la asociación previamente debe haber habilitado unas rutas para que una vez iniciada sesión por medio de una tarjeta NFC pasada por el lector del dispositivo de trazabilidad, pueda ver y seleccionar la ruta que desee. Lo anterior con el fin de evitar que los transportistas realicen los mismos recorridos. Una vez seleccionada la ruta, el sistema habilitará los sensores para que inicien a enviar y almacenar registros ya sea de manera local o remota dependiendo de las condiciones de conectividad. La creación de rutas se basa en plantillas predefinidas, conformadas por un conjunto de puntos o waypoints, asociados a fincas productoras de fresa sobre los que se construye una ruta a medida que los productores hagan parte de la asociación y se agreguen a la base de datos, el sistema realizará un nuevo cálculo de ruta con el fin último que se pueda pasar por la mayor cantidad de fincas en un mismo recorrido (ver figura 6-9).

Escenario 2 - Cargue de canastillas en finca

Una vez el transportista llegue a la finca el productor se debe autenticar en el sistema con una tarjeta NFC que permitirá el inicio de sesión para que al momento de leer los tags de las canastillas y se puedan asociar a su cuenta. Cada canastilla está identificada por un código único (varchar 255) y registradas en el sistema (ver figura 6-10).

Escenario 3 - Descargue de productos en centro de acopio

Al finalizar la ruta programada se inicia el descargue de las canastillas, estas cambian de estado, cierra proceso de entrega y finalmente la ruta (ver figura 6-11).

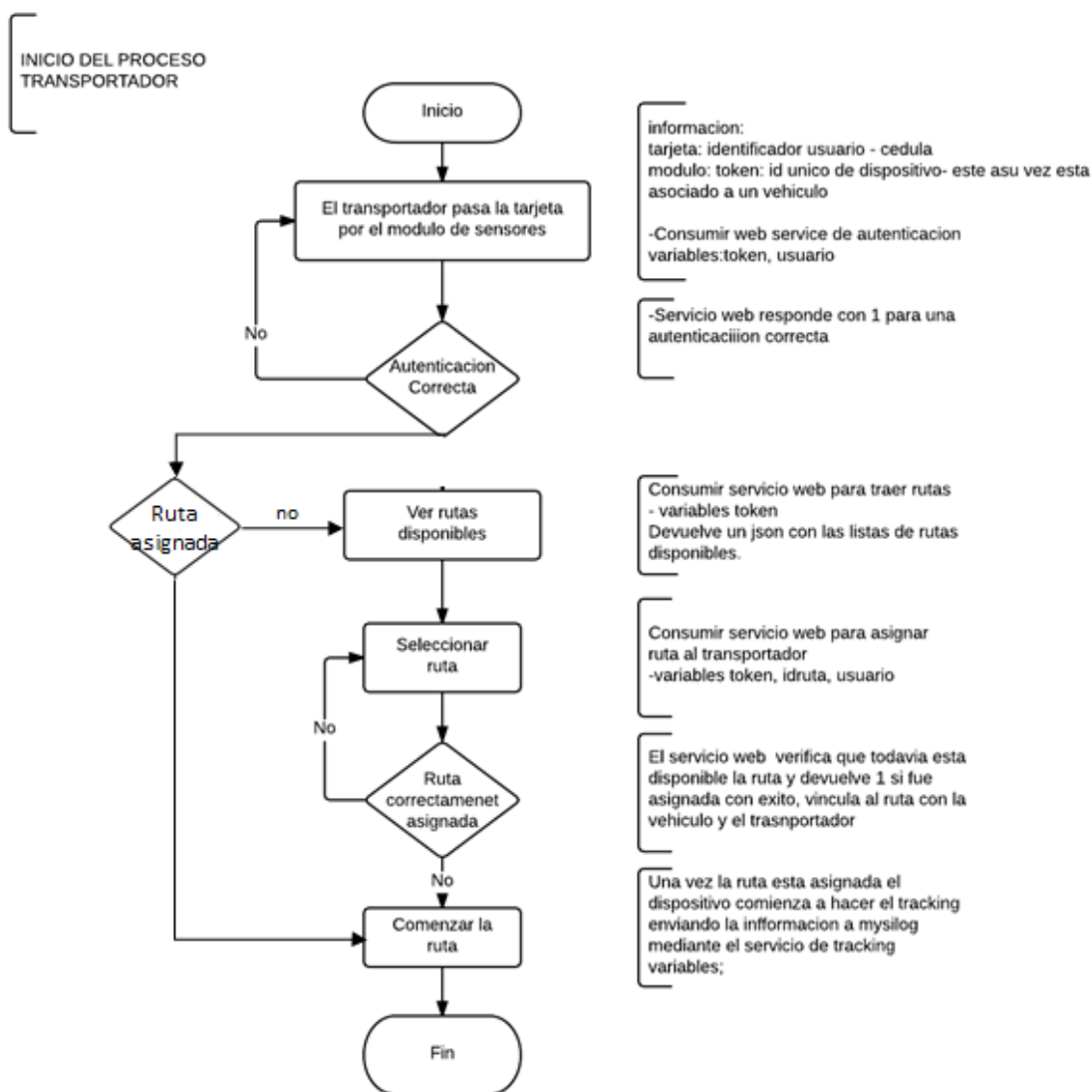


Figura 6-9.: Diagrama de flujo para escenario 1

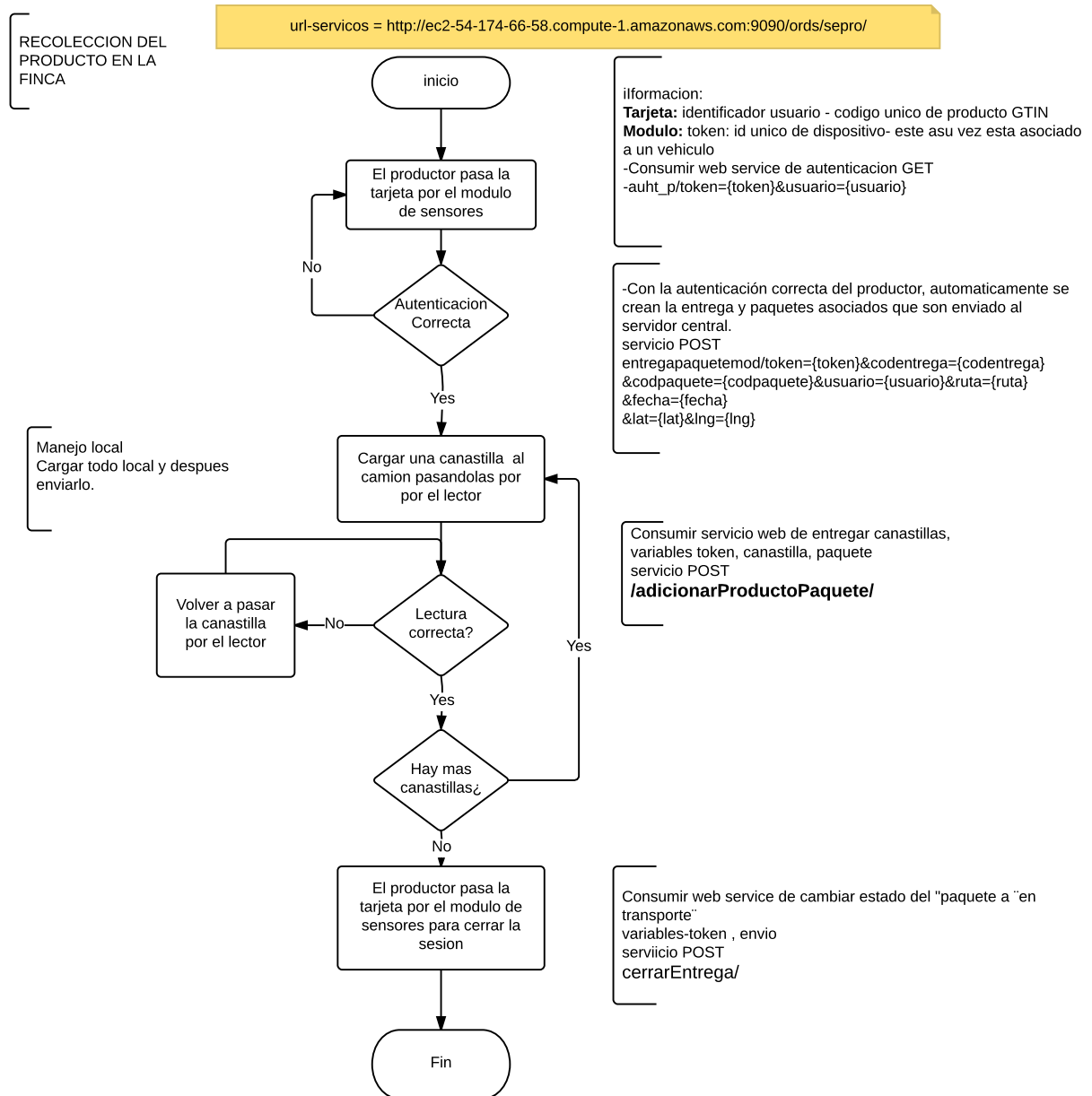
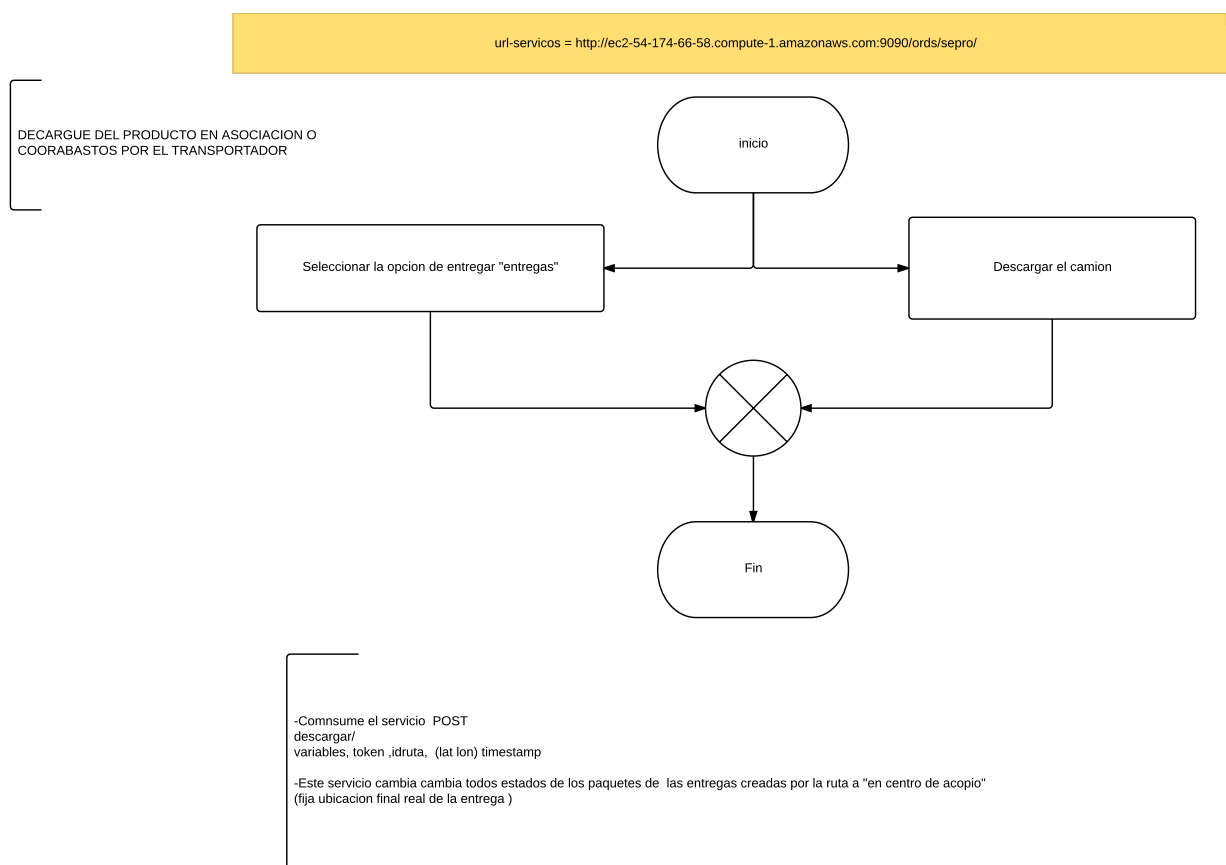


Figura 6-10.: Diagrama de flujo para escenario 2

**Figura 6-11.:** Diagrama de flujo para escenario 3

6.3. Evaluación

La primera prueba de funcionalidad del prototipo se llevó a cabo el día 18 de mayo de 2017 en el municipio de San Bernardo en Cundinamarca, Colombia. El objetivo principal de la primera prueba consistió en evaluar el comportamiento del sistema en ambientes de cero conectividad a la red de datos, tiempo de duración de la batería, condiciones de alta vibración sobre el dispositivo al igual que impactos sobre la carcasa protectora y finalmente el envío de registros a la aplicación en Cloud.

6.3.1. Cambios y/o modificaciones

- Sobre el modelo, el orden de prioridad de almacenamiento de registros cambió de prioridad Cloud a almacenamiento local y posteriormente a almacenamiento Local - Cloud, a modo de pila LIFO.
- Ajuste del sistema de potencia, debido a interrupciones en el suministro de energía al dispositivo en momentos cuando el vehículo se apaga accidentalmente.
- Instalación local de dependencias remotas que no se habían detectado en fases iniciales principalmente a bugs (error de software) y manejo de excepciones no contemplados en ambientes de cero conectividad a la red d datos móviles.
- Se cambió la batería del dispositivo pasando de una capacidad de almacenamiento de 2400 mAh a una de 104000 mAh, lo anterior permitió pasar de unos tiempo de operación de 2 horas a unos de 18 horas en promedio.

6.4. Escenarios de pruebas

6.4.1. Escenario de pruebas - Laboratorio

Se realiza con el fin de validar los requerimientos de consumo del dispositivo, a partir de los resultados se puede inferir el comportamiento de la arquitectura en cuanto a escalabilidad horizontal y vertical. Para tal fin se configura el escenario de pruebas que se puede apreciar en la figura **6-12**. A partir de la configuración de un puerto del switch en modo portmirroring se realiza la captura de todo el tráfico generado desde el nodo IoT hasta el módulo de trazabilidad en Cloud. Con el fin de validar algunas características entre el protocolo rest y la tecnología PUBNUB tomada como referencia, dado el impacto que ha tenido en el sector al ser uno de los DSN (por las siglas Data Stream Network) y proveedor de servicios como infraestructura en tiempo real que hace uso websockets. Para este escenario de pruebas se configura el sniffer wireshark para que realice 4 capturas independientes de tráfico durante 5 minutos para cada una de las tecnologías mencionadas.

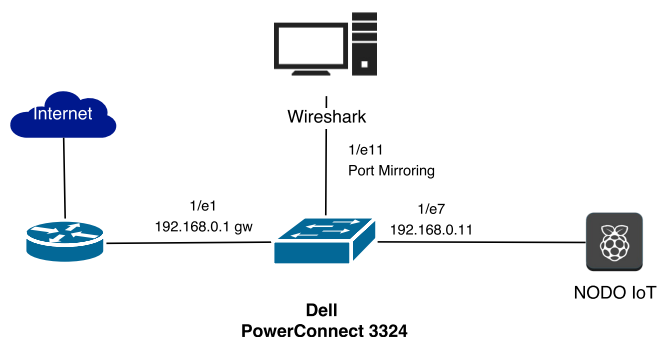


Figura 6-12.: Diagrama de red

■ Servidor Cloud

- Instancia EC2 de AWS
- Windows Server 2012 R2
- IP 54.174.66.58
- 1 VCPU
- 1 GB RAM

■ Switch

- Switching Capacity 13.6 Gbps

- Fast Ethernet Ports 24 ports 10/100BaseT
- 2 Gigabit Ethernet ports
- QoS

■ Máquina de monitoreo

- Windows 7 Professional
- IP 192.168.0.14/24
- Xeon 8 cores
- 24 GB RAM

Como resultado de la prueba se encuentra que el tráfico generado por PUBNUB es menor al del protocolo REST (ver figura **6-13**). Lo anterior representa una reducción de aproximadamente el 13.58 % en el tamaño de los archivos lo que indica que a pesar de enviar la misma cantidad de registros durante la misma ventana de tiempo los datos de señalización y demás cabeceras que utilice REST representan un incremento importante.

Métricas de paquetes capturados

Mediante la captura de tráfico realizada por el sniffer se realiza la generación de estadística descriptiva a partir de las siguientes variables: número de paquetes, tráfico promedio (Byte-s/s), promedio de paquetes por segundo (PPS), promedio de tamaño de paquete (Bytes) y total de Bytes transmitidos. Los resultados se pueden apreciar en la figura (ver figura **6-14**). Los resultados corroboran lo indicado por la gráfica de tamaño de archivo, en donde el protocolo REST genera un tráfico mayor y por ende los archivos de mayor tamaño en comparación con PUBNUB.

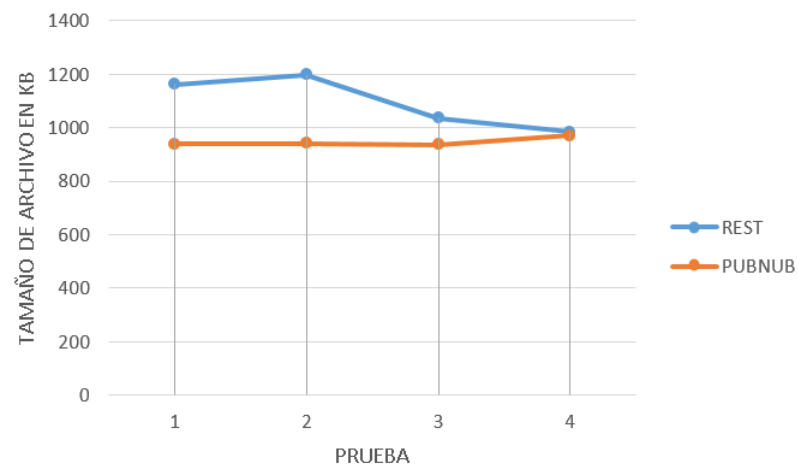


Figura 6-13.: Tamaño de archivos .dmpg



Figura 6-14.: Estadísticas de resultados de laboratorio

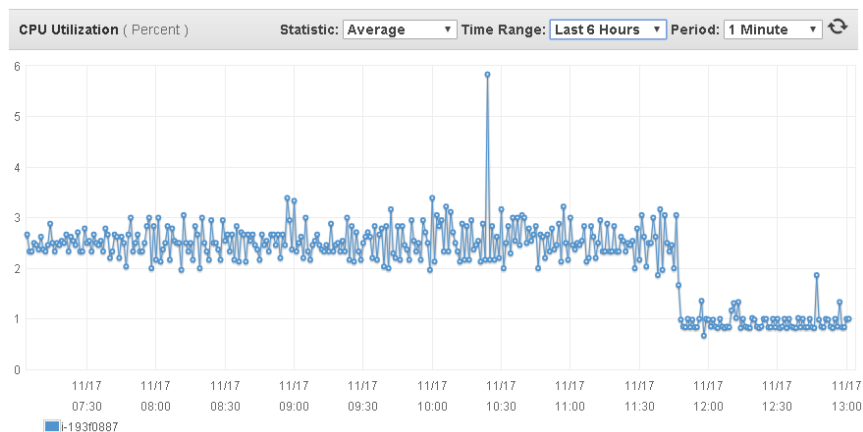


Figura 6-15.: Carga de CPU en EC2

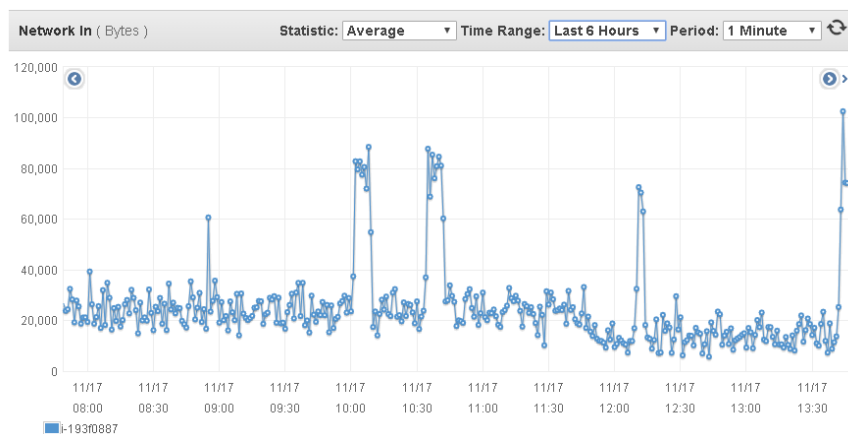


Figura 6-16.: Bytes de red de entrada en EC2

Carga sobre el servidor de aplicaciones - back-end

Se hace la aclaración que los resultados sobre la carga en el servidor de aplicaciones únicamente corresponde a las pruebas realizadas haciendo uso del protocolo REST. Al validar la carga sobre la instancia EC2 de Amazon se evidencia un incremento de aproximadamente 2% en el uso de CPU. La prueba se realiza desde las 08:00 AM hasta las 13:30 AM del 17 de noviembre de 2017. A las 11:45 se suspende el envío de registros desde el dispositivo de trazabilidad lo que se evidencia en la figura 6-15, pasando de un uso promedio de 2.5 % a 1 %. Sobre el tráfico de entrada pasa de una media de 25000 Bytes a 18000 Bytes, tal como se puede apreciar en la figura 6-16.

En cuanto a Bytes de salida no se reporta una evidencia significativa, esto en parte a que los paquetes de respuesta generados por la aplicación están limitados a algunas funciones

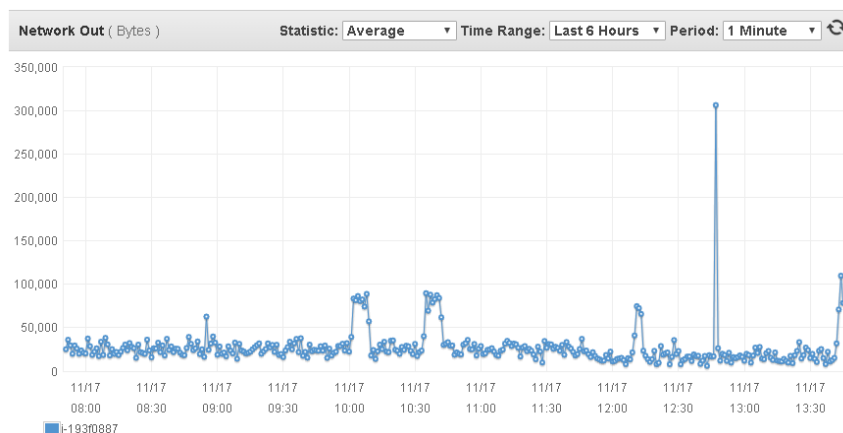


Figura 6-17.: Bytes de red de salida en EC2

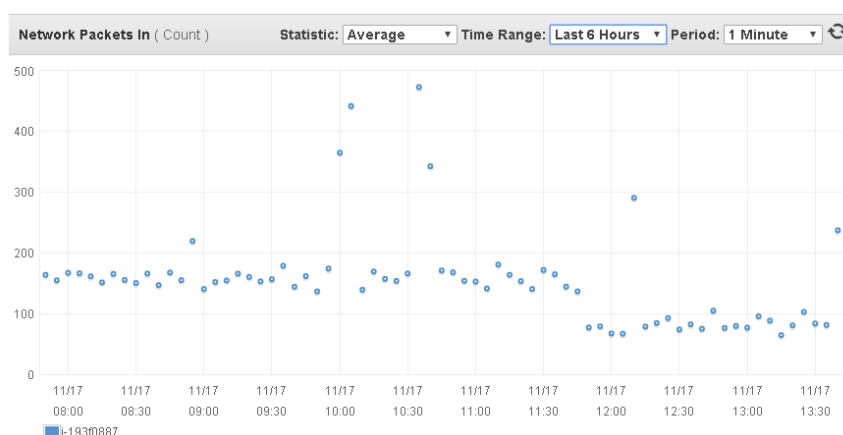


Figura 6-18.: Paquetes de entrada en interfaz de red de EC2

(ver figura 6-17). Amazon con su herramienta de monitoreo especializada también permite la revisión de tráfico a nivel de paquetes, en la figura 6-18 se evidencia el cambio a partir de las 11:45 AM hora en que se suspende el envío de registros desde el dispositivo IoT. Para el monitoreo de tráfico de nivel de paquetes de salida, la reducción es clara al pasar de una media de 150 paquetes durante el periodo de envío de registros a estar por debajo de una media de 100 paquetes (ver figura 6-19).

Tiempos de respuesta

Para las pruebas realizadas en laboratorio, bajo ciertas condiciones, es posible asegurar que la terminal únicamente se conecte a redes 3G o 4G y de esta forma poder medir los tiempos de respuesta del servidor a cada solicitud de envío de registros que se haga desde el dispositivo de trazabilidad. Los resultados del anterior experimento se pueden apreciar en la figura 6-

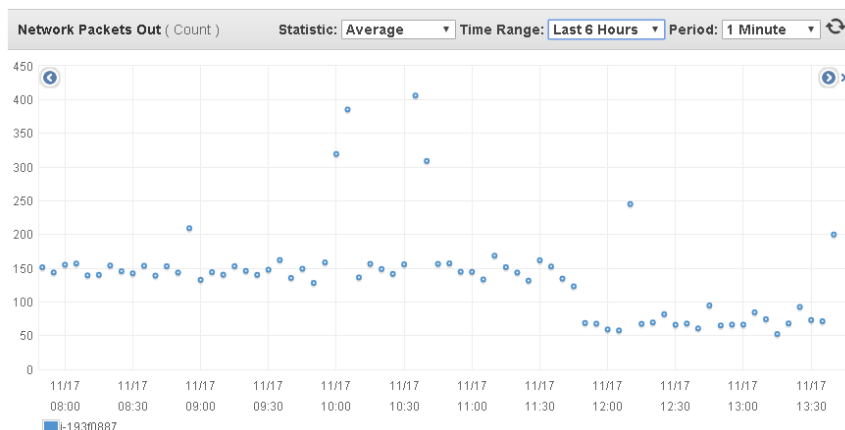


Figura 6-19.: Paquetes IP de salida en interfaz de red de EC2

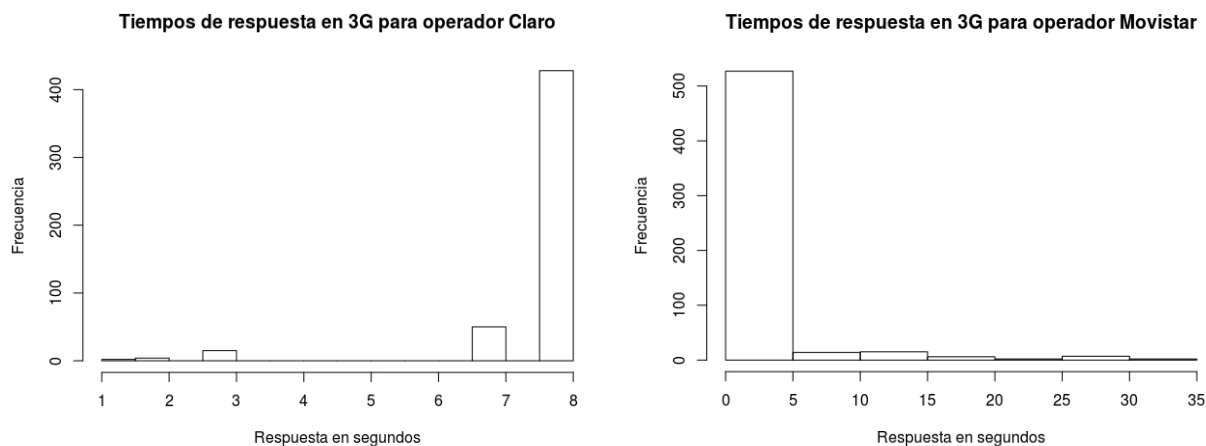


Figura 6-20.: Tiempos de respuesta con conexión 3G

20 para 3G y **6-21** para 4G, las frecuencias de los ejes y hacen referencia a la frecuencia estadística o número de aparición de esos valores dentro del experimento.

Trafico del dispositivo en red PAN

Con el propósito de identificar el tráfico de operación de dispositivo en modo Standby, se realizan 3 pruebas cada una con una duración de 15 con el fin de medir todo el tráfico tcp/ip generado a través de la interfaz WLAN del dispositivo. Para no alterar el proceso de medición se realiza la conexión a través del protocolo ssh en la interfaz eth0 o ethernet. No se realiza acceso a la página web que provee el dispositivo para su gestión y administración. Los resultados de las pruebas se pueden apreciar en la tabla **6-2**. En promedio el número de paquetes generados es de 1199, 136250 Bytes transmitidos y recibidos, 599 paquetes de entrada y 600 paquetes de salida en promedio, en cuanto a los Bytes de entrada se tiene

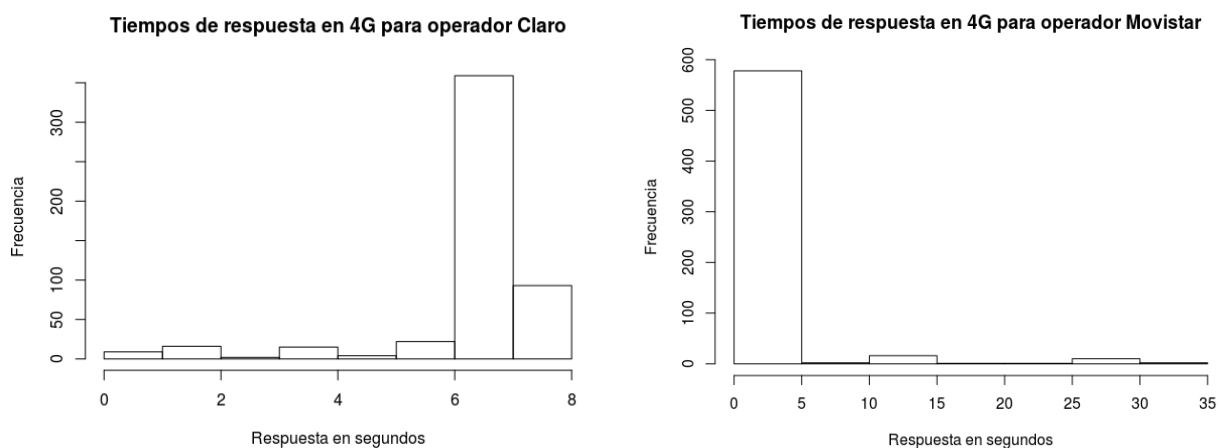


Figura 6-21.: Tiempos de respuesta con conexión 4G

Tabla 6-2.: Tráfico generado en estado Stanby

	HORA INICIO	HORA FIN	TOTAL PAQUETES	TOTAL BYTES	PAQUETES DE ENTRADA	PAQUETES DE SALIDA	BYTES ENTRADA	BYTES SALIDA
PRUEBA 1	9:16 AM	9:31 AM	1187	136218	586	601	90090	46128
PRUEBA 2	9:52 AM	10:07 AM	1199	136475	599	600	91475	45000
PRUEBA 3	10:11 AM	10:26 AM	1200	136250	600	600	91250	45000

91250 y 45000 para Bytes de salida en promedio.

Se realiza una prueba de tráfico generado cuando se accede a la interfaz web del dispositivo de trazabilidad a través de la interfaz wlan0, al igual que en la anterior prueba no se realiza envío de registros a la aplicación en Cloud. Se realizan 3 pruebas de 15 minutos cada una cuyos resultados se pueden apreciar en la tabla **6-3**. En promedio el número de paquetes generados es de 5740, 807119 Bytes transmitidos y recibidos, 2886 paquetes de entrada y 2841 paquetes de salida en promedio, en cuanto a los Bytes de entrada se tiene 244090 y 563029 para Bytes de salida en promedio.

En la tabla **6-4** se presentan las características de las pruebas realizadas para los distintos tipos de tecnología. Se realiza un análisis de varianza en las tecnologías 3G considerando como grupos los datos obtenidos en cada una de las dos compañías de telefonía. La hipótesis nula del análisis de varianza es que las medias de ambos grupos son iguales. No existe evidencia suficiente en la muestra para establecer que las medias en ambos grupos para la salida de paquetes son distintas ya que la prueba tiene un p-valor de 0,5. En el caso de la tecnología 4G, el análisis de varianza entre el desempeño de las redes de Claro y Movistar prueba que existen diferencias significativas entre ambas medias, siendo mayor la cantidad de paquetes de Movistar, con un p-valor de 0.0004 (Ver figura **6-4**).

Tabla 6-3.: Tráfico generado con acceso a interfaz web

	HORA INICIO	HORA FIN	TOTAL PAQUETES	TOTAL BYTES	PAQUETES DE ENTRADA	PAQUETES DE SALIDA	BYTES ENTRADA	BYTES SALIDA
PRUEBA 1	10:29 AM	10:44 AM	5643	799842	2835	2808	239142	560700
PRUEBA 2	10:46 AM	11:01 AM	5740	807119	2886	2874	244090	563029
PRUEBA 3	11:04 AM	11:19 AM	5746	840192	2950	2841	260704	579488

Tabla 6-4.: Tráfico generado en operación

PRUEBA DE LABORATORIO CON OPERADOR CELULAR MONSTAR BAJO TECNOLOGIA 4G LTE-A+															
		INICIO			FIN										
	HORA INICIO	HORA FIN	ENCOLAMIENTO	LATENCIA (ms)	VEL. BAJADA (Mbps)	VEL. SUBIDA (Mbps)	LATENCIA (ms)	VEL. BAJADA (Mbps)	VEL. SUBIDA (Mbps)	TOTAL PAQUETES	TOTAL BYTES	PAQUETES ENTRADA	PAQUETES SALIDA	BYTES ENTRADA	BYTES SALIDA
PRUEBA 1	17:45	18:00	26	31	3.14	1.18	43	1.93	0.917	3465	617301	1657	1868	285066	227555
PRUEBA 2	18:08	18:23	28	38	1.83	0.887	44	3.17	0.863	3553	535290	1692	1863	300498	234702
PRUEBA 3	18:29	18:44	26	34	1.79	0.911	46	1.82	0.681	3542	542275	1714	1828	314449	228408
PROMEDIO			26.27	41	2.25	0.99	44.33	2.14	0.82	3526.7	544926.3	1687.7	1833	301104.3	230087.7
PRUEBA DE LABORATORIO CON OPERADOR CELULAR MONSTAR BAJO TECNOLOGIA 4G LTE															
PRUEBA 1	18:50	19:05	17	25	4.93	3.83	25	7.66	12.67	3715	599239	1805	1910	366328	232911
PRUEBA 2	19:20	19:35	26	23	4.5	11.12	24	4.34	3	3745	581600	1775	1970	344496	238104
PRUEBA 3	19:41	19:56	20	21	4.1	8.46	21	3.67	6.74	3811	608384	1830	1981	368298	240886
PROMEDIO			21	23	4.51	8.47	23.3	5.02	7.47	3797	586107.67	1803.3	1953.67	359374	237033.67
PRUEBA DE LABORATORIO CON OPERADOR CELULAR CLARO BAJO TECNOLOGIA 4G LTE-A+															
PRUEBA 1	16:30	16:45	12	48	1.48	0.385	53	2.31	0.403	3391	458325	1595	1796	223992	233233
PRUEBA 2	16:49	17:04	12	51	2.67	0.605	60	2.51	0.57	3364	455005	1593	1771	227821	230884
PRUEBA 3	17:08	17:23	20	52	1.72	0.549	58	2.48	0.39	4111	546792	1915	2196	271877	274915
PROMEDIO			14.67	50.33	1.95	0.513	57	2.43	0.45	3622	487574	1710	1921	241130	248344
PRUEBA DE LABORATORIO CON OPERADOR CELULAR CLARO BAJO TECNOLOGIA 4G LTE															
PRUEBA 1	10:33	10:48	9	67	2.55	2.99	72	3.4	5.42	3907	390033	1442	1565	209052	185081
PRUEBA 2	10:55	11:10	8	57	1.48	3.36	83	4.44	3.64	2911	381815	1413	1528	198521	183564
PRUEBA 3	11:14	11:29	12	67	3.14	2.96	63	3.02	2.51	2980	394113	1418	1562	207981	186432
PROMEDIO			9.67	63.67	2.39	2.93	72.67	3.62	3.86	2976	390520.33	1424.33	1551.67	205294.67	185025.67

6.4.2. Escenario de pruebas - Entorno de pruebas real

Tiempos de respuesta

Se realiza un análisis estadístico descriptivo básico de los tiempos en que tarda el envío de un registro desde el dispositivo de trazabilidad hasta la aplicación en Cloud. Teniendo en cuenta la presencia de valores atípicos se requiere utilizar medidas de estadística descriptiva que no sean sensibles a la presencia de valores atípicos generados por la naturaleza temporal y espacial de los puntos medidos, lo anterior hace referencia a los histogramas generados a partir de los datos tomados en las pruebas en campo.

Corredor norte, Claro Colombia

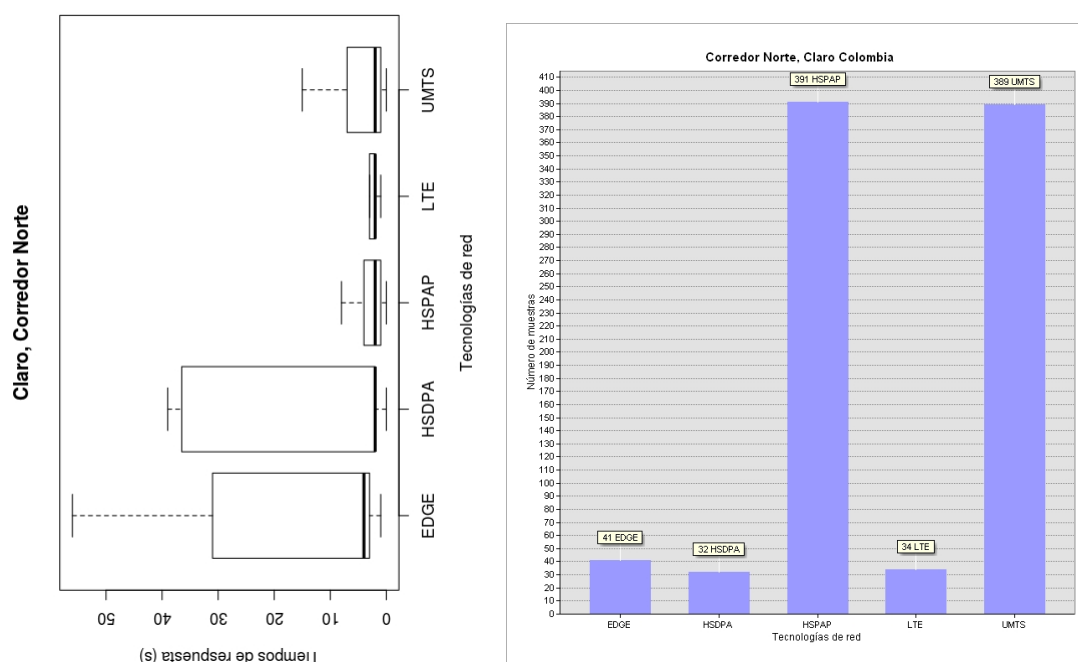


Figura 6-22.: Tiempos de respuesta en corredor Norte, Claro

El proceso de monitoreo inició a las 06.23.42 PM y terminó hacia las 08.20.34 PM del día 14/05/2018 finalizando en la entrada norte de la ciudad de Bogotá y como partida el municipio de Villapinzón en Cundinamarca. El recorrido realizado tuvo una distancia de aproximadamente 90 Km, en el recorrido se midieron parámetros de tiempos de respuesta desde la aplicación en Cloud hacia el dispositivo de trazabilidad. De los 1081 registros capturados se construyó el BoxPlot representado en la figura 6-22, argumentado la pertinencia de este tipo de estadístico indicado previamente se encontró que la mediana de tiempos de respuesta durante todo el recorrido es de 48 segundos.

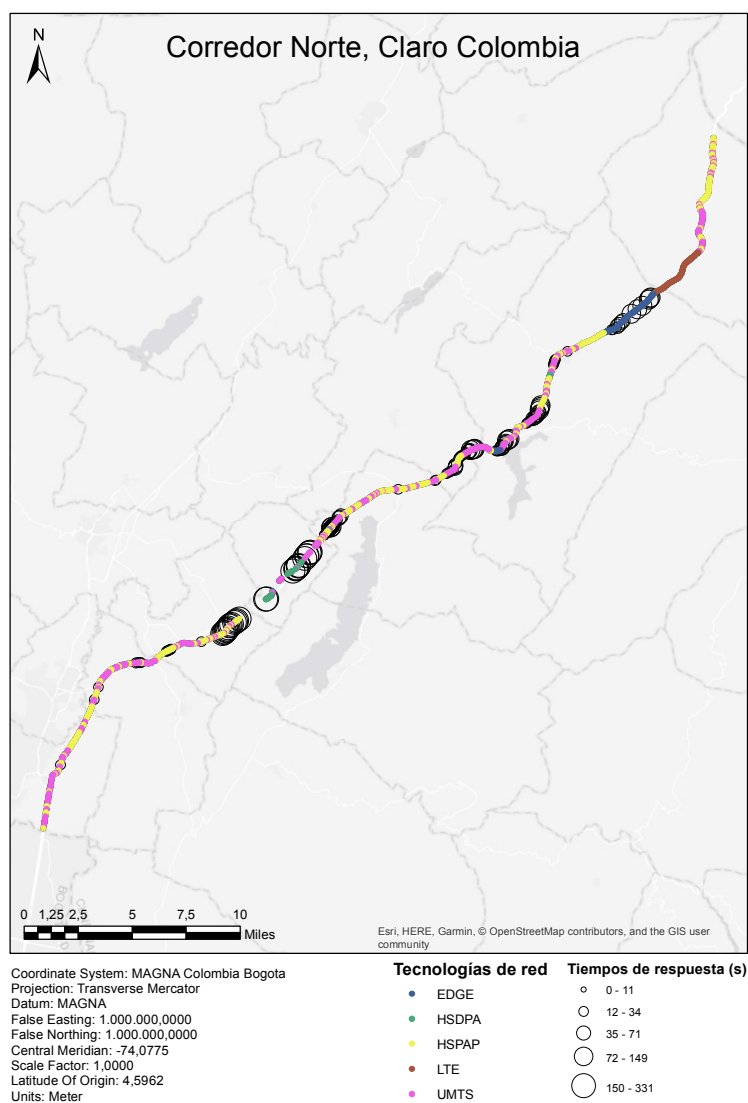


Figura 6-23.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Norte, Claro

En paralelo al inicio de envío de registros desde el dispositivo de trazabilidad se inició la captura de muestras de calidad celular desde el dispositivo EDGE Gateway el cual registró durante el mismo trayecto 1838 registros, lo anterior debido a que la frecuencia de muestreo de la aplicación era mayor (parámetro no modificable) que el dispositivo de trazabilidad el cual tomó 887 registros durante el proceso. A partir de la realización de un join espacial con una segunda validación a nivel de hora de captura se realizó la unión de atributos entre los datasets de OpenSignal y el dispositivo de trazabilidad, cabe mencionar que eso mismo se hizo para todos los corredores. El 91 % del recorrido estuvo bajo cobertura 3G, el 4.62 % en tecnología 2G y el 3.83 % restante bajo cobertura 4G (ver figura **6-23**). Se menciona que estos porcentajes de cobertura están delimitados a los momentos en el que el dispositivo estuvo conectado a la red de datos móvil. La tecnología 2G tiene una variabilidad mayor a

la de las demás tecnologías a pesar de contar con un 4.62 % de las muestras, la mayoría de valores están concentrados en los tiempos cercanos a un segundo, sin embargo no es atípico que se presenten algunos valores mayores a 30 segundos. Las versiones de tecnología de red 3G que menor variabilidad presenta, es decir, mayor estabilidad es la HSPAP con valores aproximados a 3 segundos similar a la presentada por las redes 4G para este mismo corredor. La tecnología HSDPA presenta la menor estabilidad, justificado por la alta dispersión de los tiempos de respuesta capturados.

Corredor norte, Movistar Colombia

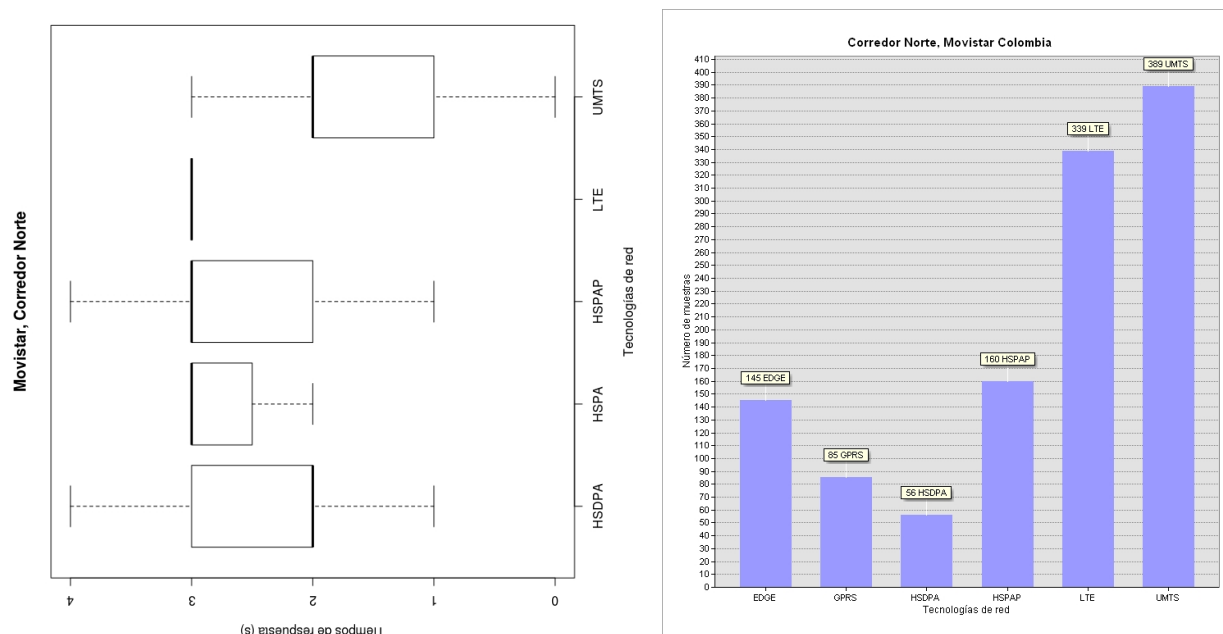


Figura 6-24.: Tiempos de respuesta en corredor Norte, Movistar

En el histograma de la figura 6-24 se puede apreciar que la tecnología de red que ofrece la mayor estabilidad es la LTE teniendo en cuenta que no se evidencia dispersión ni valores atípicos en los tiempos de respuesta, se puede establecer con una alta certeza que durante los recorridos que se hagan por el corredor norte con el operador movistar los tiempos de respuesta bajo LTE serán de 3 segundos. Llama la atención que la mediana para las tecnologías HSDPA y UMTS se la misma, 2 segundos aproximadamente, a pesar que las dos son dos estados diferentes de evolución de 3G con HSDPA como versión más avanzada sobre UMTS. Los tiempos de respuesta para las tecnologías HSPA y HSPAP tienen una mediana de 3 segundos, pero la dispersión en HSPAP es mayor en comparación a HSPA a pesar que la primera es una versión más avanzada de tecnología celular 3G. Por motivos de escala y visualización el BoxPlot generado para UMTS no se incluye, pero se menciona que su mediana se aproxima a los 40 segundos de igual modo su rango intercuartílico. De

las 1174 muestras recogidas durante el recorrido el 58% del tiempo estuvo conectado a tecnología de red 3G, el 28.9% a LTE y el 12.3% a 2G (ver figura 6-25). El proceso de monitoreo inició a las 10.00.00 AM y terminó hacia las 11.00.00 PM del día 28/05/2018 partiendo del municipio de Villapinzón hasta la entrada norte de la ciudad de Bogotá, con una distancia recorrida de aproximadamente 90 Km. Con el fin de proveer al lector una herramienta para la visualización de los datos de calidad celular sobre todos los corredores viales se habilita el geoportal <https://nemanosalvab.carto.com/builder/fd494bf5-87a5-4c08-b246-86b2e3aae138/embed>

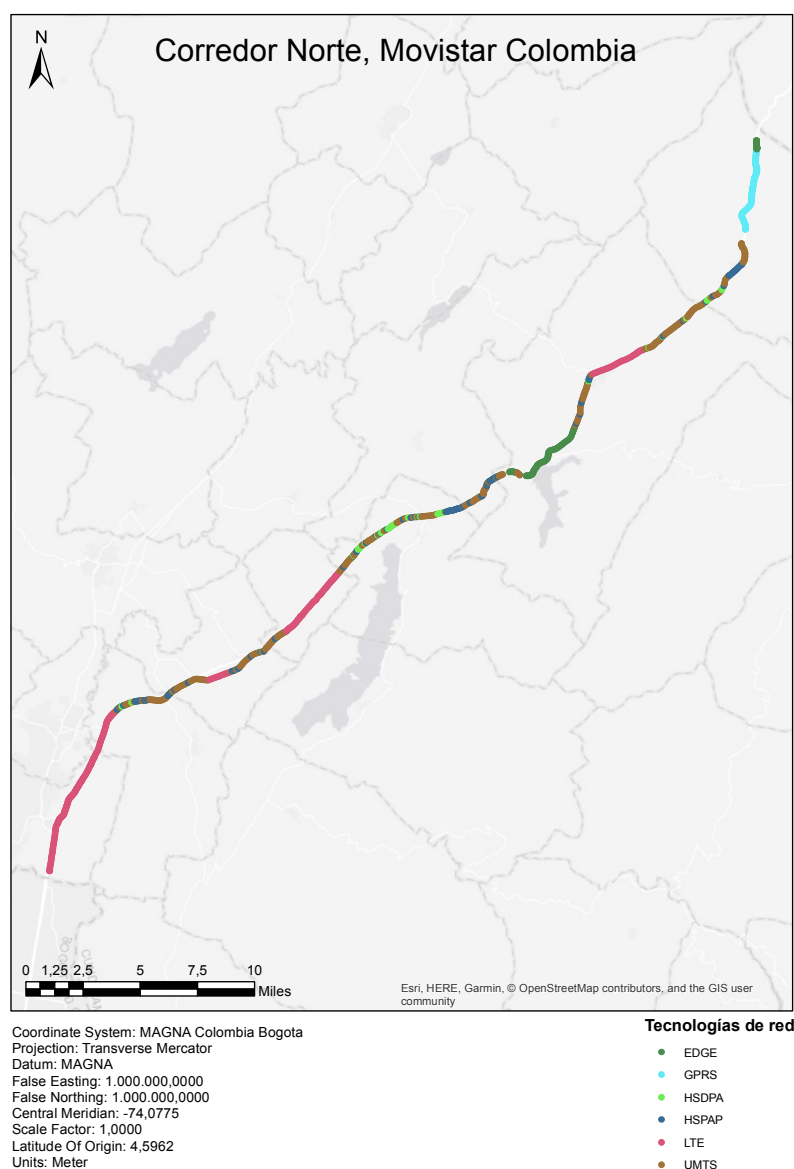


Figura 6-25.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Norte, Movistar

Corredor occidental, Claro Colombia

Luego de realizado el preprocesamiento de datos se obtienen 274 registros válidos para la ruta Bogotá - Facatativá, se inició la captura de registros 11:29:12 AM y finalizó a las 11:51:27 AM del día 19 de Mayo de 2018. Se resalta el alto nivel de cobertura con tecnología 4G que el operador provee sobre el corredor vial con una cobertura del 89 %, para tecnologías 3G la cobertura es del 11 % (ver figura 6-26).

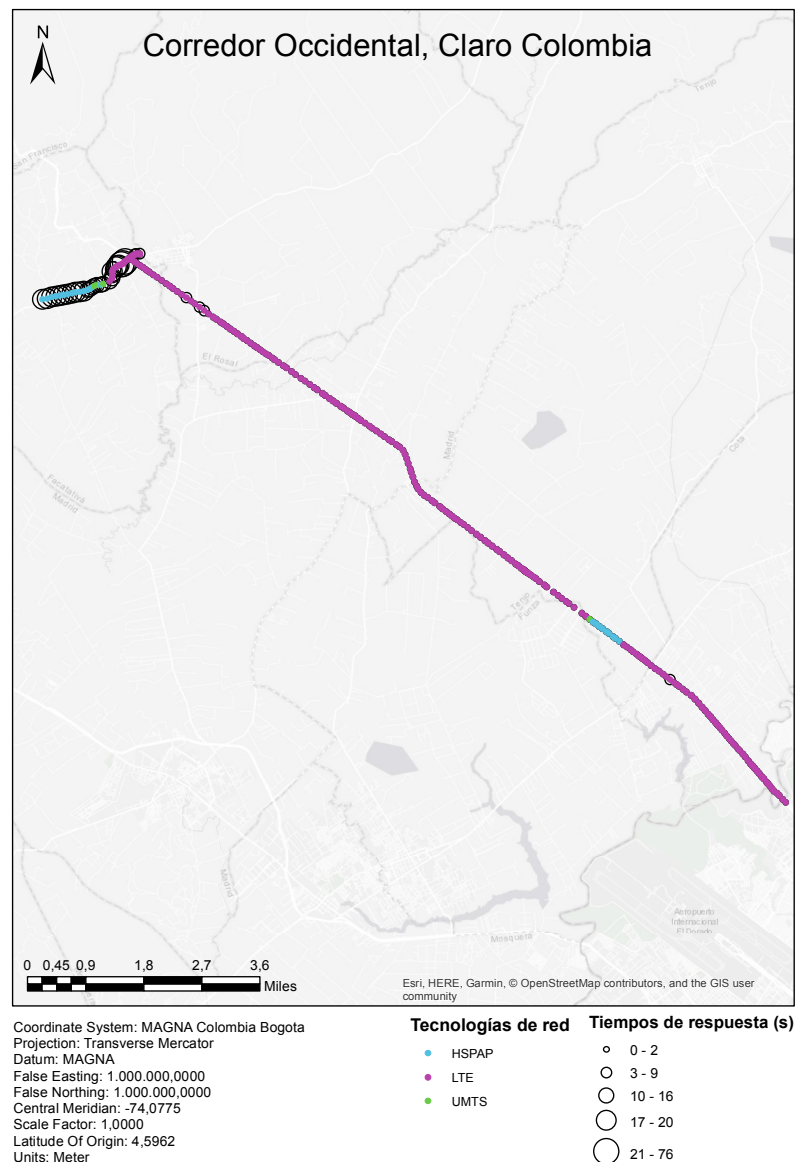


Figura 6-26.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Occidental, Claro

Corredor occidental, Movistar Colombia

Luego de realizado el preprocesamiento de datos se obtuvieron 278 registros válidos en la ruta Facatativá - Bogotá, se inició la captura de registros hacia las 02:58:26 PM y terminó a las 04:23:15 PM del día 19 de Mayo de 2018 con un recorrido de 28 Km aproximadamente. A partir de los datos de calidad celular se concluye que: durante el trayecto el 39.9% del trayecto estuvo bajo cobertura 3G y el 60.1 % restante bajo tecnología 4G (ver figura 6-28). En el mapa 6-27 se puede apreciar como hay un aumento en los tiempos de respuesta den los momentos en el que el dispositivo de trazabilidad pasa de una zona de cobertura con tecnología 4G a 3G.

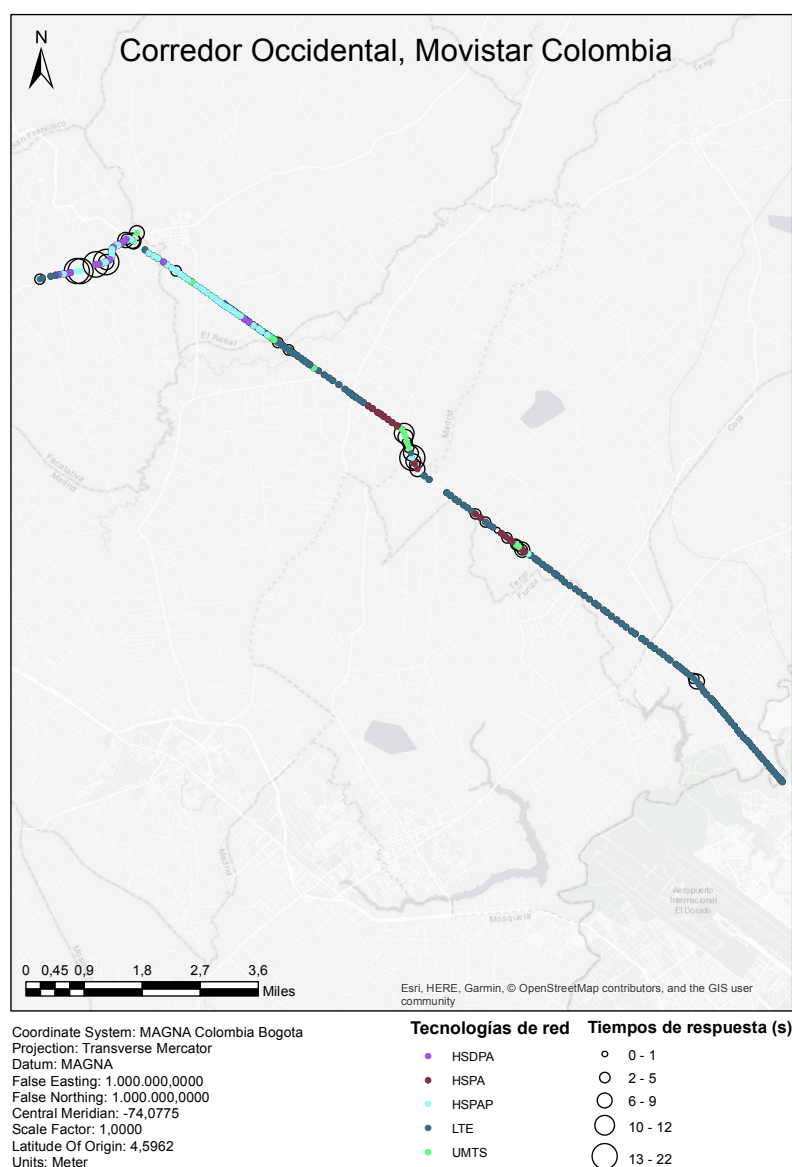


Figura 6-27.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Occidental, Movistar

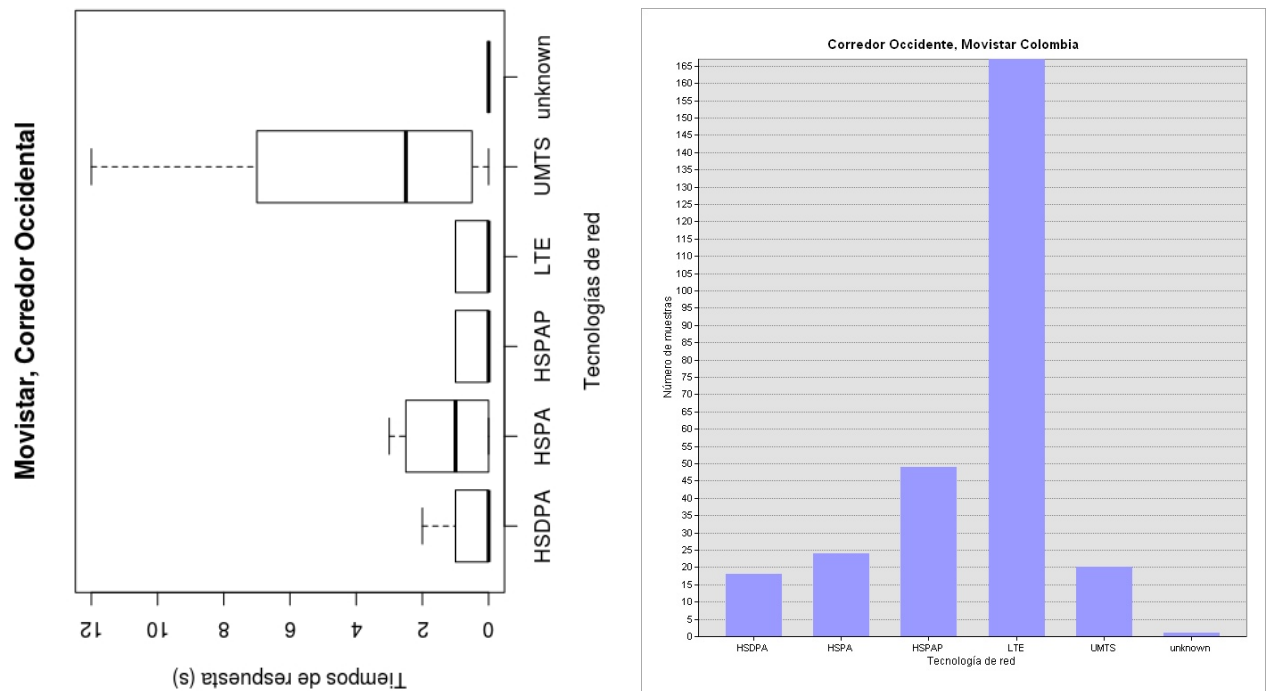


Figura 6-28.: Tiempos de respuesta en corredor Occidental, Movistar

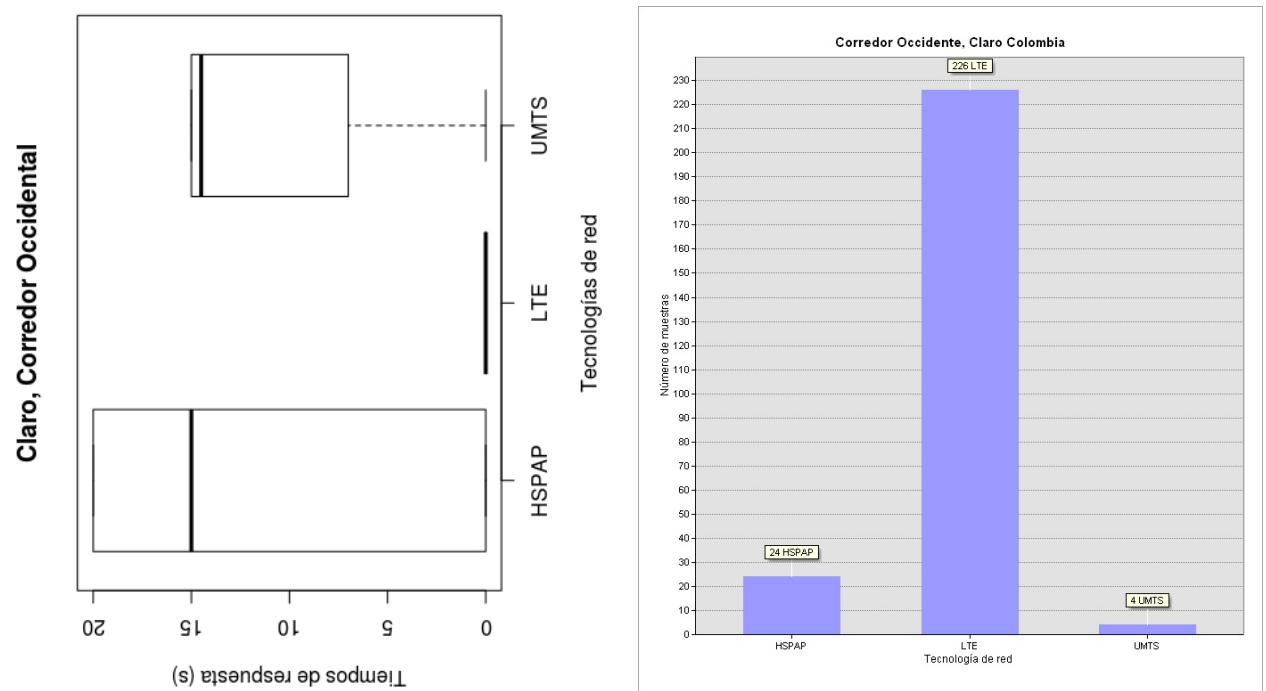


Figura 6-29.: Tiempos de respuesta en corredor Occidental, Claro

Resumen

La cantidad de versiones disponibles de tecnología de red para el operador Movistar en el corredor sur fue mayor que en la de Claro, sin embargo, la variabilidad en las tecnologías HSPAP y UMTS es mayor en Claro que en Movistar, la diferencia en las medianas de la primera versión son 15 segundos y en la segunda son 11 segundos. Los tiempos de respuesta de la versión LTE son estables y del orden de milisegundos en Claro mientras que en Movistar presentan una menor estabilidad, tal como se puede apreciar en la figuras **6-28** y **6-29**.

Corredor sur, Claro Colombia

Luego de realizado el preprocesamiento de datos se obtienen 280 registros válidos bajo la ruta Sibaté - Bogotá, se inició la captura de registros hacia las 10:07 AM y finalizó a las 10:34 AM del día 20 de Mayo de 2018. Se encuentra que durante el 100 % del recorrido únicamente hubo cobertura de tecnología 3G (ver figura 6-30).



Figura 6-30.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Sur, Claro

Corredor sur, Movistar Colombia

Luego de realizado el preprocesamiento de datos se obtienen 280 registros válidos bajo la ruta Bogotá - Sibaté, se inició la captura de registros hacia las 10:07 AM y finalizó a las 10:34 AM del día 20 de Mayo de 2018. En el corredor sur el operador Movistar tiene una cobertura en cuanto a tecnología 4G del 86 % y un 14 % en tecnología 3G tal como se puede apreciar en la figura 6-31.

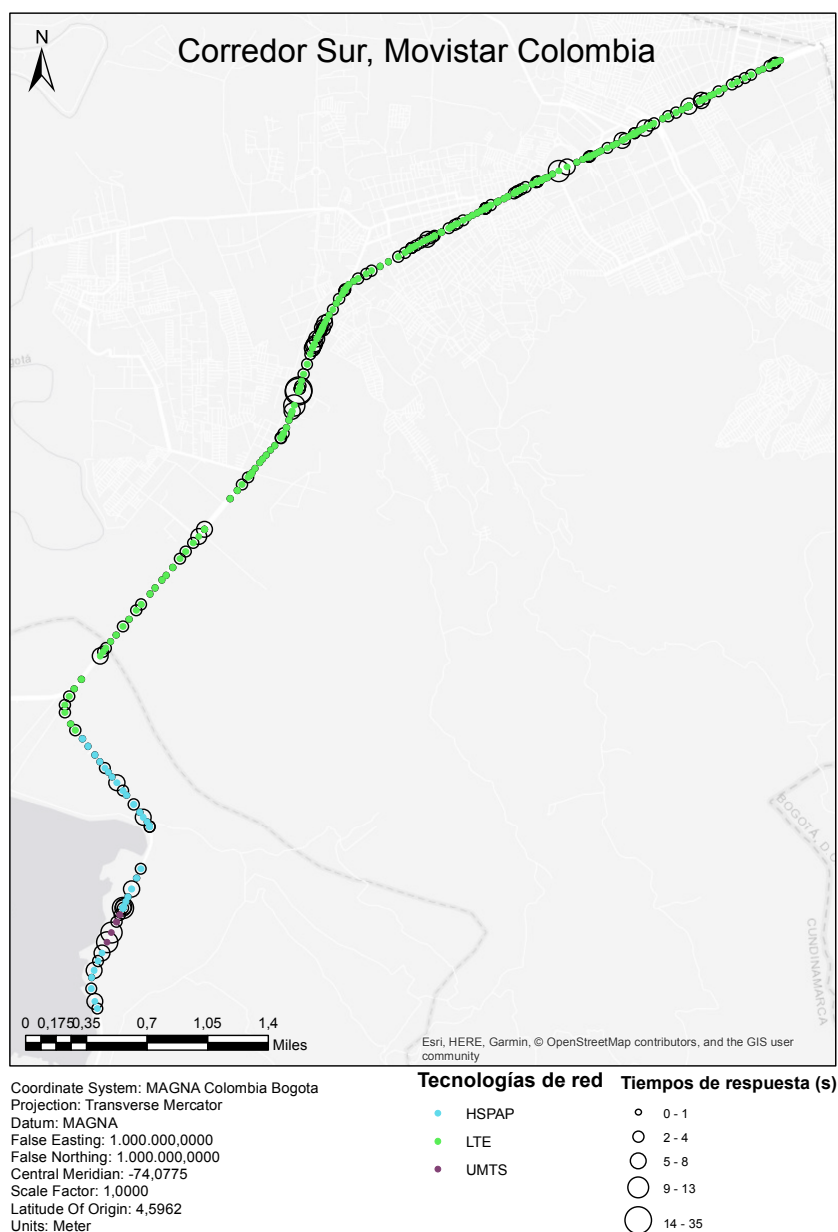


Figura 6-31.: Mapa de tiempos de respuesta en corredor Sur, Movistar

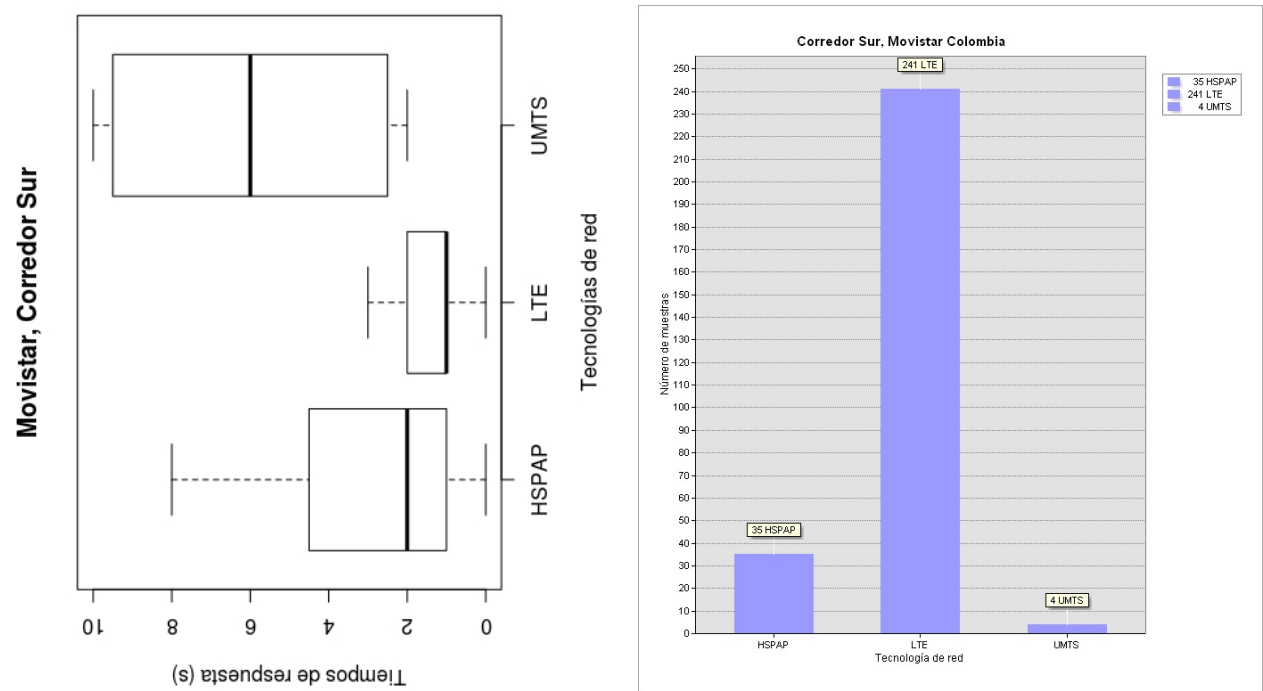


Figura 6-32.: Tiempos de respuesta en corredor Sur, Movistar

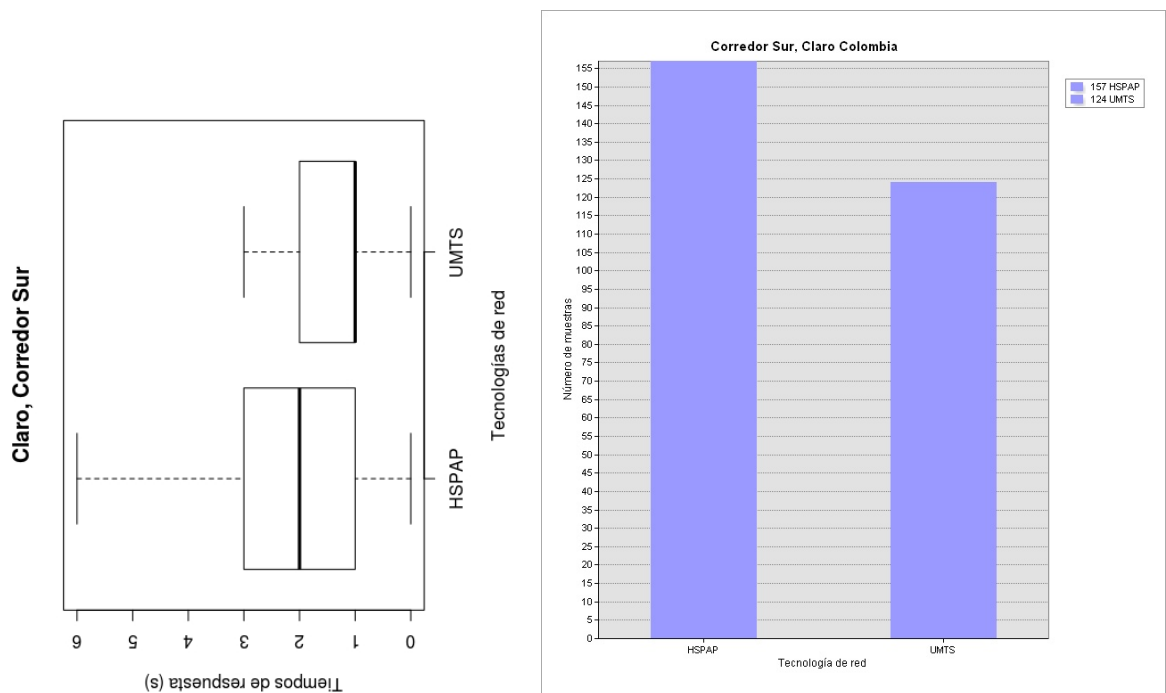


Figura 6-33.: Tiempos de respuesta en corredor Sur, Claro

Resumen

El recorrido realizado en la red Claro se desarrolló principalmente en las tecnologías 3G la mediana en esta fue de 2 segundos. Este comportamiento fue similar en las mediciones realizadas en la tecnología HSPAP de Movistar, mientras que en la versión LTE la mediana fue 1 con una estabilidad mayor. A pesar de la poca cantidad de muestras en la tecnología 4G de Movistar la estabilidad fue baja y con tiempos de respuesta más grandes que en la misma tecnología de Claro.

Análisis de correlaciones

Existe evidencia moderada negativa de correlación lineal de Pearson entre la variable velocidad y tiempo de respuesta en la red 4G de Movistar. Es decir, si la variable velocidad aumenta una unidad, en promedio, el tiempo de respuesta disminuye 0.67 segundos. Una correlación moderada positiva se encuentra en la red Claro 2G, es decir un aumento en la velocidad se asocia con un aumento en el tiempo de respuesta. Un patrón similar a esta red se encuentra en la tecnología 3G de Claro, aunque con un parámetro de menor tamaño. La correlación de velocidad y tiempo de respuesta en las redes 4G de Claro y 3G de movistar es debil con 0,11 y -0,03 respectivamente (ver tabla **6-6**).

Tabla 6-5.: Medias de variables de interes

OPERADOR	TECNOLOGÍA DE RED	VELOCIDAD (Km/h)	ENCOLAMIENTO	TIEMPOS DE RESPUESTA (segundos)
CLARO	2G	92.18	30.64	38.41
CLARO	3G	67.02	5.53	15.01
CLARO	4G	46.63	25.04	2.39
MOVISTAR	3G	20.24	76.66	2.35
MOVISTAR	4G	43.12	79.39	1.33

Tabla 6-6.: Indice de correlacion de Pearson

ID	OPERADOR MÓVIL	TECNOLOGÍA DE RED	ÍNDICE DE CORRELACIÓN DE PEARSON
1	CLARO	2G	0.621
2	CLARO	3G	0.36
3	CLARO	4G	0.11
4	MOVISTAR	3G	-0.032
5	MOVISTAR	4G	-0.67

7. Conclusiones

- Del modelo de arquitectura propuesto se concluye que es una alternativa apropiada para convertirse en una tecnología habilitante al permitir la recuperación de la historia del proceso paralelamente a la gestión de la cadena de suministro ya que constituye una herramienta que responde a las necesidades del sector según los requerimientos identificados durante la etapa de caracterización desarrolladas en el capítulo 4.
- Tener una evaluación del estado tecnológico, principalmente en aspectos de conectividad y plataforma tecnológica disponible permite proponer sistemas informáticos que se ajusten mejor a las necesidades y realidad de las comunidades y zonas de interés. Lo anterior se soporta en la identificación de las redes de datos móviles como canal de comunicación factible entre el dispositivo de trazabilidad y la aplicación en Cloud y de igual modo hacer una caracterización y evaluación a nivel de proveedores de servicios para estas redes. Acá se identificó a los operadores Claro Colombia y Movistar Colombia como los dos proveedores con mayor cobertura en las zonas de interés (ver capítulo 3).
- Tener en cuenta los conceptos y opiniones, producto de la experiencia y el diario de vivir de los productores de fresa debe ser fundamental para la construcción de cualquier sistema informático que se piense desarrollar para ellos, lo anterior evidenciado con las socializaciones realizadas con el fin de evitar cualquier posible resistencia al momento de adoptar la solución tecnológica. Esto se soporta en los resultados de las investigaciones realizadas por GSMA para Latino América (ver subsección 3.3.1) y los resultados de la caracterización del proceso logístico de la Fresa en Cundinamarca, Colombia realizado por el grupo de investigación SEPRO (ver capítulo 4).
- Sistemas electrónicos que requieran operación en ambientes de baja conectividad, esfuerzo mecánico alto, condiciones atmosféricas extremas, implican la adopción de los más altos estándares de resistencia al agua y polvo, por otro lado adoptar componentes de arquitecturas como los mencionados por Fog Computing permiten dar solución al tema de conectividad al permitir hacer el procesamiento de datos en dispositivos mas cercanos al usuario y más alejados de la nube, esto para los momentos en los que el dispositivo se encuentre en operación en zonas que no tengan cobertura de redes de datos, estos sistemas deben permitir cierto grado de funcionalidad aún si no cuenta con una conexión a internet. Lo anterior resulta de alta relevancia dado que la mayor

parte de las fincas productores se encuentran en zonas veredales en donde la cobertura de redes de datos resulta deficiente (ver mapas **3-9**).

- Para el corredor sur existe una cobertura adecuada en cuanto a tecnología LTE por parte del operador Movistar, el operador Claro no tiene cobertura 4G para este corredor. Hacia el corredor occidental Claro tiene mayor presencia con cobertura LTE que Movistar, con una penetración de casi el 90 %. Hacia el corredor Norte, Movistar tiene una mejor cobertura de redes LTE con una cobertura del 28.9 % en comparación con 3.83 % que tiene el operador Claro Colombia. Lo anterior indica que aún falta el despliegue de tecnología LTE sobre los corredores viales mencionados, la situación de cobertura de cuarta generación es aún mas deficiente sobre los centros poblados de los municipios productores y más sobre las vías terciarias que conectan las fincas productoras ubicadas en las veredas hacia los cascos urbanos.
- El dispositivo de trazabilidad tiene un mejor comportamiento en términos de encolamiento en redes de datos pertenecientes al operador Claro bajo las pruebas realizadas en escenario de laboratorio, para 4G el encolamiento fue de 10 registros mientras que para la misma tecnología pero ahora en Movistar el encolamiento fue de 21 registros. En tecnología 3G el operador Claro tiene un mejor comportamiento bajo el mismo escenario si se comparan los 15 registros encolados contra los 26 registros para el operador Movistar, lo que indica que los tiempos de respuesta no son el único parámetro a tener en cuenta ya que estos resultados favorecerían al operador Movistar (ver tabla **6-5**).
- El mejor tiempo de respuesta para el envío de registros desde el dispositivo de trazabilidad a la aplicación en nube lo obtuvo Movistar con 1.33 segundos en promedio bajo tecnología 4G. Llama la atención el empate técnico entre Movistar 3G y Claro 4G con 2.3 segundos en promedio. Claro 3G presenta una demora considerablemente mayor a la de su par en la red de Movistar con 15 segundos en promedio (ver tabla **6-5**).
- La distribución de tiempos de respuesta para el escenario de laboratorio con el operador Claro bajo tecnología de red 3G tiene una media 7.67 segundos y una mediana de 8 segundos, esto es señal que existe sesgo a izquierda, es decir hay datos atípicos cercanos al 1. En la misma tecnología de red, Movistar tiene una media de 3.71 y una mediana de 3, esto quiere decir que existe un sesgo a derecha el cual se presenta en valores entre 10 y 35 segundos (ver figura **6-20**). Para los tiempos de respuesta bajo tecnología de red 4G con el operador Claro la media fue de 6.75 segundos y la mediana fue de 7 segundos, esto indica la existencia de un sesgo a derecha mientras que en la misma tecnología Movistar tiene una media de 3.99 segundos y una mediana de 3 segundos lo cual indica un sesgo a izquierda (ver figura **6-21**). Si bien en ambos operadores la media y la mediana son diferentes favoreciendo estas medidas la de Movistar, esta red es más variable que la de Claro.

-
- En cuanto al encolamiento de registros se evidencia el impacto que tiene la transmisión en 3G en comparación con 4G al momento de realizar 3 pruebas de 15 minutos para cada uno de los operadores seleccionados con sus diferentes tecnologías de red, haciendo referencia a 3G o 4G, para el operador Movistar en 3G hubo un encolamiento promedio de 26 registros para las pruebas realizadas, mientras que para el mismo operador pero ahora en 4G dicho encolamiento fue de 21 registros en promedio, lo que representa una reducción del 20 % aproximadamente. Para el operador Claro, sucede algo similar al registrar un encolamiento de 15 registros en promedio durante las pruebas realizadas bajo tecnología 3G, mientras que para 4G el encolamiento fue de 10 registros lo que representa una reducción del 33 %. Estos resultados llaman la atención dado que con menores tiempos de respuesta para el operador Movistar Colombia se esperaría que el encolamiento fuera menor al de Claro Colombia, lo anterior puede estar justificado en parte por la alta dispersión que presentan los tiempos de respuesta para el operador Movistar.
 - El modelo propuesto posee un comportamiento adecuado en redes de tercera generación lo que permitiría su despliegue y operación en las zonas de interés del presente proyecto que cuentan con este tipo de tecnología a nivel de cobertura, esto principalmente durante la trazabilidad realizada desde la finca hasta los centros de acopio ubicados en las cabeceras municipales. Para el resto de los recorridos, sobre las corredores principales con el despliegue actual de infraestructura de red el dispositivo podría funcionar sin ningún inconveniente haciendo uso de las redes de datos móviles desplegadas actualmente.
 - Para la construcción de sistemas con un alto grado de componente social se requiere del trabajo interdisciplinar de profesionales con alta sensibilidad social y alta capacidad técnica para la creación de alternativas de solución a problemáticas que tengan como objetivo último mejorar las condiciones de vida de las comunidades.
 - El desarrollo del trabajo de investigación permitió la implementación de diferentes metodologías enmarcadas dentro de una metodología general, para nuestro caso la ADD, debido a la heterogeneidad de los objetivos específicos. No se evidenció problemas de compatibilidad entre estas, contrariamente se aseguró el hilo conductor del trabajo de investigación tomando los resultados de cada metodología como insumo para ADD.

8. Trabajo futuro

- Hacer un desarrollo más exhaustivo de los casos de uso, requerimientos funcionales y no funcionales, diagramas de secuencia entre otros y posterior implementación para el rol de consumidor dentro del módulo de trazabilidad del sistema.
- Realizar las respectivas investigaciones para la construcción de los nodos sobre plataformas de menor consumo de recursos y de menores prestaciones que Raspberry PI 3.
- Se requiere el desarrollo de redes de sensores inalámbricos ajustados a modelos que permitan una lectura adecuada y uniforme de las condiciones de la bodega de carga dado que para este prototipo solo se cuenta con un solo sensor para cada variable y se debe asumir uniformidad. Una clara opción es la implementación de redes Ad-Hoc los cuales pueden permitir el despliegue de una red de sensores inalámbricos sobre toda la bodega de carga, ya sea en el vehículo o en el centro de acopio.
- En el momento que se tenga un volumen de datos adecuado nace la posibilidad de realizar analítica de datos que permita identificar potencialidades y debilidades en la cadena de suministro.
- Proveer a los nodos la posibilidad de compartir servicios a través de los protocolos e interfaces adecuados con el fin de ampliar las funcionalidades de los mismos sin necesidad de tener redundancia de datos.
- Para el despliegue del modelo propuesto se requiere hacer uso de plataformas y lenguajes de programación robustos y lo suficientemente maduros con el fin de mitigar la posible caídas de la plataforma, para la implementación del prototipo se hizo uso de lenguajes de API's de prototipado como Node-Red y Apex de Oracle.
- Con el fin de tener una evaluación más completa en términos de cobertura de redes de datos móviles se requiere de la captura de datos de calidad celular sobre las vías que conectan a las veredas con los cascos urbanos de los municipios que hacen parte del proyecto.

A. Anexo: Tabla de registros de calidad celular de OpenSignal

Table



composite_measurements_abr_66

OB_ID	CTID	Shape	time	latitude	longitude	cdma dbm	cdma ecio	evdo dbm	gsm signal	Rx rsrp	Rx rsrq	Rx rssnr	Rx cqi	cs gsm dbm	network	1
1	Point	1490904051866	4,257603	-74,542279	-120	-120	-160	-120	12	0	0	0	0	-89	GPRS	
2	Point	1491004611149	5,07902	-73,753101	-120	-120	-160	-120	13	0	0	0	0	0	unknown	
3	Point	1491002901752	4,915948	-74,010732	-120	-120	-160	-120	22	0	0	0	0	-73	HSPA	
4	Point	1490901690984	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	22	0	0	0	0	-71	HSPA	
5	Point	1490901698508	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	22	0	0	0	0	-69	HSPA	
6	Point	1490901706039	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	18	0	0	0	0	-77	HSPA	
7	Point	1490901713507	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	20	0	0	0	0	-73	HSPA	
8	Point	1490901720995	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	17	0	0	0	0	-77	HSPA	
9	Point	1490901728658	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	15	0	0	0	0	-83	HSPA	
10	Point	1490901736007	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	17	0	0	0	0	-77	HSPA	
11	Point	1490901743503	4,244629	-74,74239	-120	-120	-160	-120	17	0	0	0	0	-77	HSPA	
12	Point	1490901751094	4,248998	-74,725359	-120	-120	-160	-120	17	0	0	0	0	-79	HSPA	
13	Point	1490901758519	4,248246	-74,72477	-120	-120	-160	-120	15	0	0	0	0	-81	HSPA	
14	Point	1490901766019	4,246823	-74,723725	-120	-120	-160	-120	22	0	0	0	0	-73	UMTS	
15	Point	1490901773520	4,246064	-74,723286	-120	-120	-160	-120	24	0	0	0	0	-63	UMTS	
16	Point	1490901781015	4,244997	-74,722723	-120	-120	-160	-120	24	0	0	0	0	-67	HSPA	
17	Point	1490901788516	4,243398	-74,722266	-120	-120	-160	-120	25	0	0	0	0	-65	HSPA	
18	Point	1490901796016	4,242302	-74,722043	-120	-120	-160	-120	23	0	0	0	0	-63	HSPA	
19	Point	1490901803519	4,240943	-74,721624	-120	-120	-160	-120	23	0	0	0	0	-69	HSPA	
20	Point	1490901811015	4,238338	-74,721144	-120	-120	-160	-120	26	0	0	0	0	-61	HSPA	
21	Point	1490901818518	4,238446	-74,721022	-120	-120	-160	-120	27	0	0	0	0	-61	UMTS	
22	Point	1490901826015	4,236927	-74,720864	-120	-120	-160	-120	27	0	0	0	0	-59	UMTS	
23	Point	1490901833517	4,236512	-74,72048	-120	-120	-160	-120	27	0	0	0	0	-61	UMTS	
24	Point	1490901841014	4,235635	-74,719078	-120	-120	-160	-120	27	0	0	0	0	-53	UMTS	
25	Point	1490901848517	4,235572	-74,718478	-120	-120	-160	-120	18	0	0	0	0	-73	HSPA	
26	Point	1490903722829	4,213331	-74,630939	-120	-120	-160	-120	8	0	0	0	0	0	unknown	
27	Point	1490901856018	4,235693	-74,717353	-120	-120	-160	-120	14	0	0	0	0	-89	UMTS	
28	Point	1490901863519	4,2358	-74,717087	-120	-120	-160	-120	11	0	0	0	0	-93	UMTS	
29	Point	1490901871022	4,235989	-74,716484	-120	-120	-160	-120	12	0	0	0	0	-91	HSPA	
30	Point	1490901878514	4,236039	-74,716072	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-95	UMTS	
31	Point	1490901886014	4,236061	-74,715339	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-95	UMTS	
32	Point	1490901893519	4,236094	-74,714803	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-95	UMTS	
33	Point	149090223337	4,209963	-74,654133	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-87	UMTS	
34	Point	1490902230978	4,205581	-74,651937	-120	-120	-160	-120	13	0	0	0	0	-89	HSPA	
35	Point	1490902238452	4,217713	-74,68388	-120	-120	-160	-120	13	0	0	0	0	-87	HSPA	
36	Point	1490902245954	4,211867	-74,653882	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-93	HSPA	
37	Point	1490902253452	4,21016	-74,653867	-120	-120	-160	-120	12	0	0	0	0	-87	UMTS	
38	Point	1490902260959	4,20943	-74,653438	-120	-120	-160	-120	12	0	0	0	0	-91	HSDPA	
39	Point	1490902268457	4,20943	-74,653438	-120	-120	-160	-120	10	0	0	0	0	-89	UMTS	
40	Point	1490902275955	4,20943	-74,653438	-120	-120	-160	-120	19	0	0	0	0	-75	UMTS	
41	Point	1490902283475	4,20943	-74,653438	-120	-120	-160	-120	23	0	0	0	0	-71	UMTS	

(93 out of 20795 Selected)

composite_measurements_abr_66

B. Anexo: Tabla de registros de dispositivo de trazabilidad

ID	RUJA_ID	TEMPERATURA	HUMEDAD	FUERZA_G	TIEMPO	LAT	LNG	FECHA_CREACION	VELOCIDAD	PENDIENTE	INCLINACION	HORAGPS	TEMP_SONDA
151149	69	13.8		52.1	0 23-FEB-18 09.14.40.	4.953908	-73.777402	23-FEB-18 09.14.43.	0	-4.606973702	-2.593240964	23-FEB-18 09.14.18.	6.9
151148	69	13.8		52.1	0 23-FEB-18 09.14.09.	4.953908	-73.777403	23-FEB-18 09.14.12.	0	-4.677594682	-3.083278791	23-FEB-18 09.14.07.	7
151147	69	13.8		52.8	0 23-FEB-18 09.13.39.	4.953907	-73.777403	23-FEB-18 09.13.45.	0	-4.51093247	-2.515756325	23-FEB-18 09.13.36.	7.1
151146	69	13.7		53	0 23-FEB-18 09.13.08.	4.953907	-73.777403	23-FEB-18 09.13.12.	0	-4.785980721	-3.524874458	23-FEB-18 09.13.07.	7.1
151145	69	13.7		52.7	0 23-FEB-18 09.12.38.	4.953907	-73.777403	23-FEB-18 09.12.41.	0	-4.539027725	-2.409957891	23-FEB-18 09.12.37.	7.3
151144	69	13.7		52.7	0 23-FEB-18 09.12.08.	4.953905	-73.777403	23-FEB-18 09.12.11.	0	-4.50525278	-2.955140357	23-FEB-18 09.12.06.	7.3
151143	69	13.7		52.7	0 23-FEB-18 09.11.37.	4.953905	-73.777403	23-FEB-18 09.11.40.	0	-4.771707811	-2.422676677	23-FEB-18 09.11.35.	7.4
151142	69	13.6		53.7	0 23-FEB-18 09.11.06.	4.953905	-73.777403	23-FEB-18 09.11.09.	0	-4.516156294	-2.615222545	23-FEB-18 09.11.05.	7.4
151141	69	13.7		53.9	0 23-FEB-18 09.10.36.	4.953905	-73.777403	23-FEB-18 09.10.39.	0	-4.717783315	-2.479807072	23-FEB-18 09.10.34.	7.5
151140	69	13.6		53.6	0 23-FEB-18 09.10.05.	4.953903	-73.777403	23-FEB-18 09.10.08.	0	-4.674309865	-2.867505454	23-FEB-18 09.10.03.	7.6
151139	69	13.6		53.6	0 23-FEB-18 09.09.35.	4.953903	-73.777403	23-FEB-18 09.09.37.	0	-4.508270406	-2.69940855	23-FEB-18 09.09.32.	7.6
151138	69	13.5		54.3	0 23-FEB-18 09.09.04.	4.953903	-73.777403	23-FEB-18 09.09.07.	0	-4.584940422	-2.620690085	23-FEB-18 09.09.02.	7.7
151137	69	13.5		53.9	0 23-FEB-18 09.08.33.	4.953902	-73.777403	23-FEB-18 09.08.37.	0	-4.446166411	-2.396118851	23-FEB-18 09.08.32.	7.8
151136	69	13.5		53.8	0 23-FEB-18 09.08.03.	4.953902	-73.777402	23-FEB-18 09.08.06.	0	-4.365264141	-2.636387382	23-FEB-18 09.08.02.	7.8
151135	69	13.5		52.9	0 23-FEB-18 09.07.33.	4.953902	-73.777402	23-FEB-18 09.07.36.	0	-4.70887215	-2.710282793	23-FEB-18 09.07.31.	7.9
151134	69	13.5		53.4	0 23-FEB-18 09.07.03.	4.953902	-73.777403	23-FEB-18 09.07.05.	0	-4.732805053	-2.538559097	23-FEB-18 09.07.00.	7.9
151133	69	13.5		54.5	0 23-FEB-18 09.06.32.	4.953902	-73.7774	23-FEB-18 09.06.35.	0	-4.409073612	-2.335836833	23-FEB-18 09.06.31.	8
151132	69	13.5		54.6	0 23-FEB-18 09.06.02.	4.953902	-73.7774	23-FEB-18 09.06.05.	0	-4.607386352	-2.577889522	23-FEB-18 09.06.00.	8
151131	69	13.5		54.3	0 23-FEB-18 09.05.32.	4.953902	-73.7774	23-FEB-18 09.05.35.	0	-4.291932	-2.324924187	23-FEB-18 09.05.30.	8
151130	69	13.4		54	0 23-FEB-18 09.05.01.	4.953902	-73.777398	23-FEB-18 09.05.04.	0	-4.29716705	-2.240538445	23-FEB-18 09.05.01.	7.9
151129	69	13.4		53	0 23-FEB-18 09.04.31.	4.953902	-73.777398	23-FEB-18 09.04.34.	0	-4.259662482	-2.218778766	23-FEB-18 09.04.30.	7.9
151128	69	13.5		54	0 23-FEB-18 09.04.01.	4.953902	-73.777398	23-FEB-18 09.04.04.	0	-4.419836031	-2.237373934	23-FEB-18 09.03.59.	8
151127	69	13.4		54.3	0 23-FEB-18 09.03.30.	4.953902	-73.777398	23-FEB-18 09.03.34.	0	-4.35183549	-2.187515713	23-FEB-18 09.03.28.	8
151126	69	13.4		54.5	0 23-FEB-18 09.03.00.	4.9539	-73.777398	23-FEB-18 09.03.03.	0	-4.341587815	-2.063324339	23-FEB-18 09.02.58.	8
151125	69	13.4		54.4	0 23-FEB-18 09.02.30.	4.9539	-73.777398	23-FEB-18 09.02.32.	0	-4.212009188	-2.294162146	23-FEB-18 09.02.29.	8
151124	69	13.4		55.1	0 23-FEB-18 09.01.59.	4.9539	-73.777398	23-FEB-18 09.02.02.	0	-4.230931141	-2.300056985	23-FEB-18 09.01.58.	8
151123	69	13.4		55.1	0 23-FEB-18 09.01.29.	4.953888	-73.777397	23-FEB-18 09.01.32.	0	-4.284998642	-2.171283271	23-FEB-18 09.01.27.	8
151122	69	13.4		54.5	0 23-FEB-18 09.00.27.	4.953888	-73.777397	23-FEB-18 09.00.31.	0	-4.330254065	-2.205944999	23-FEB-18 09.00.26.	8
151121	69	13.4		55	0 23-FEB-18 08.59.57.	4.953887	-73.777398	23-FEB-18 09.00.00.	0	-4.16103102	-2.286045964	23-FEB-18 08.59.55.	8
151120	69	13.4		55	0 23-FEB-18 08.59.26.	4.953887	-73.777398	23-FEB-18 08.59.30.	0	-4.351787427	-2.245581523	23-FEB-18 08.59.24.	8
151119	69	13.4		54.7	0 23-FEB-18 08.58.56.	4.953887	-73.777397	23-FEB-18 08.58.59.	0	-4.258652594	-2.324577511	23-FEB-18 08.58.55.	8
151118	69	13.4		54.7	0 23-FEB-18 08.58.26.	4.953888	-73.777393	23-FEB-18 08.58.29.	0	-4.286655234	-2.149855029	23-FEB-18 08.58.24.	8
151117	69	13.4		54.7	0 23-FEB-18 08.57.56.	4.953888	-73.777393	23-FEB-18 08.57.58.	0	-4.154999324	-2.381930556	23-FEB-18 08.57.54.	8
151116	69	13.3		54.9	0 23-FEB-18 08.57.25.	4.953888	-73.777393	23-FEB-18 08.57.28.	0	-4.368798338	-2.243710015	23-FEB-18 08.57.25.	8
151115	69	13.3		54.9	0 23-FEB-18 08.56.55.	4.953888	-73.777393	23-FEB-18 08.56.59.	0	-4.230999253	-2.357348585	23-FEB-18 08.56.54.	8
151114	69	13.3		54.4	0 23-FEB-18 08.56.24.	4.953888	-73.777393	23-FEB-18 08.56.30.	0	-4.301235541	-2.229265527	23-FEB-18 08.56.23.	8
151113	69	13.3		54.7	0 23-FEB-18 08.55.54.	4.953887	-73.777393	23-FEB-18 08.55.57.	0	-4.309790097	-2.339080233	23-FEB-18 08.55.52.	8

C. Anexo: Pruebas de tracking en dispositivo de trazabilidad

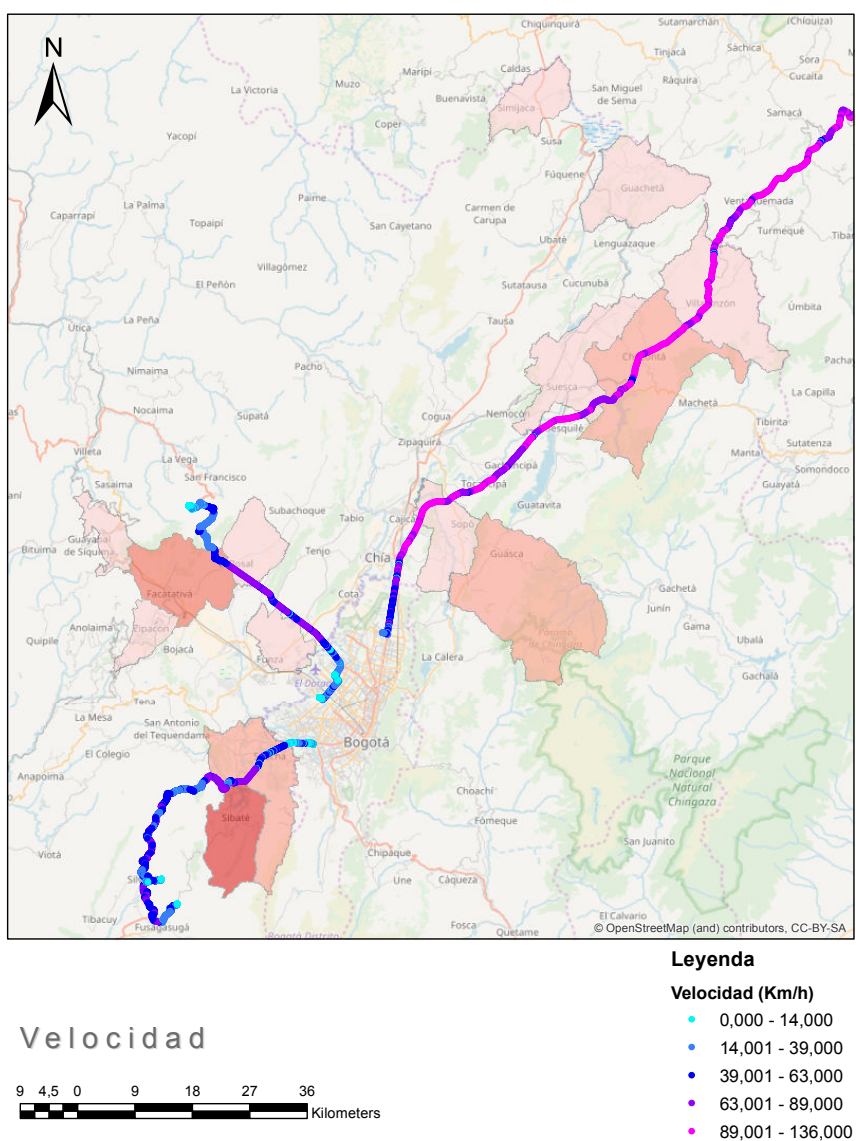


Figura C-1.: Velocidad

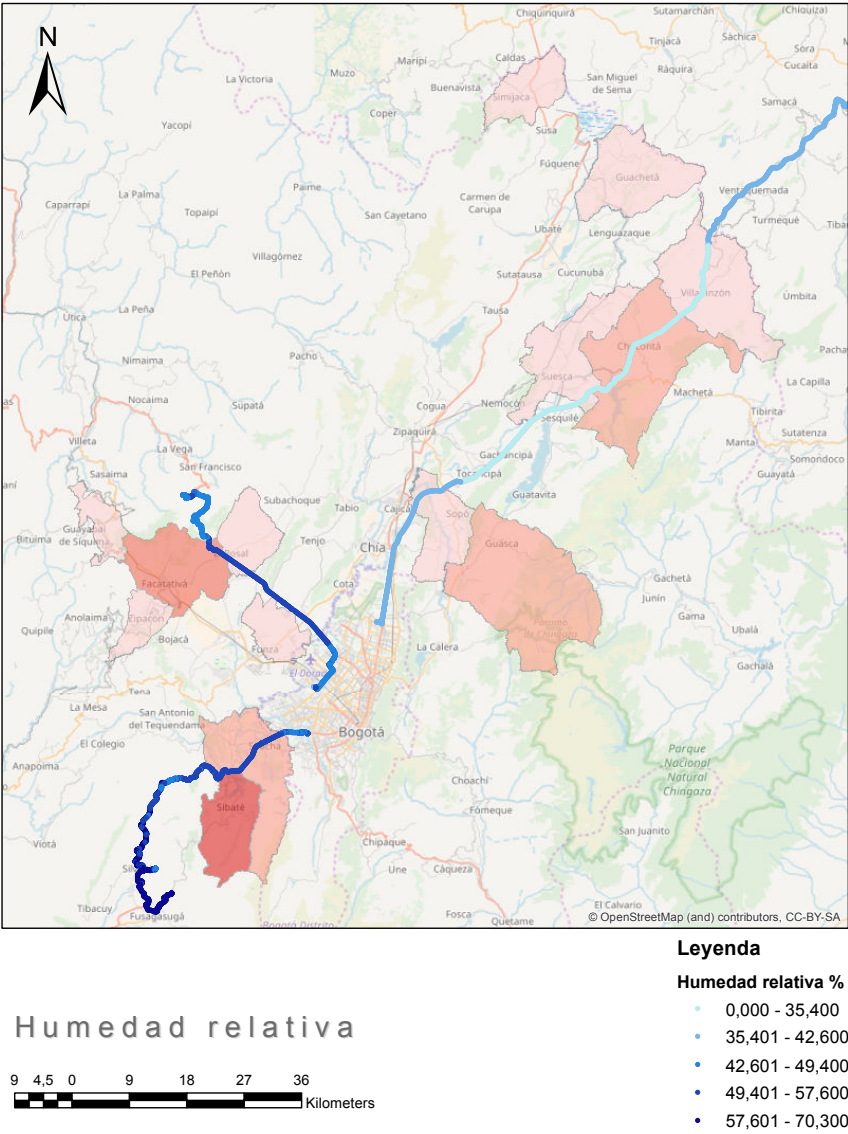


Figura C-2.: Humedad

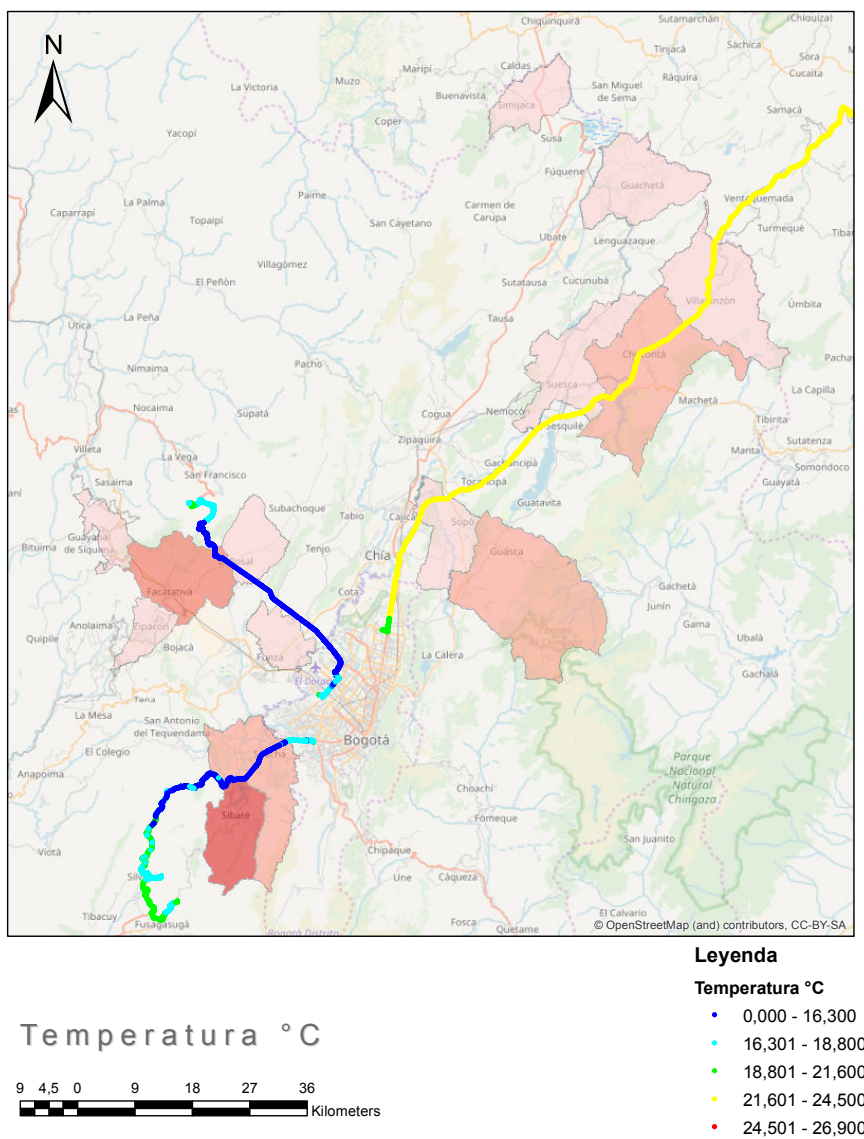


Figura C-3.: Temperatura

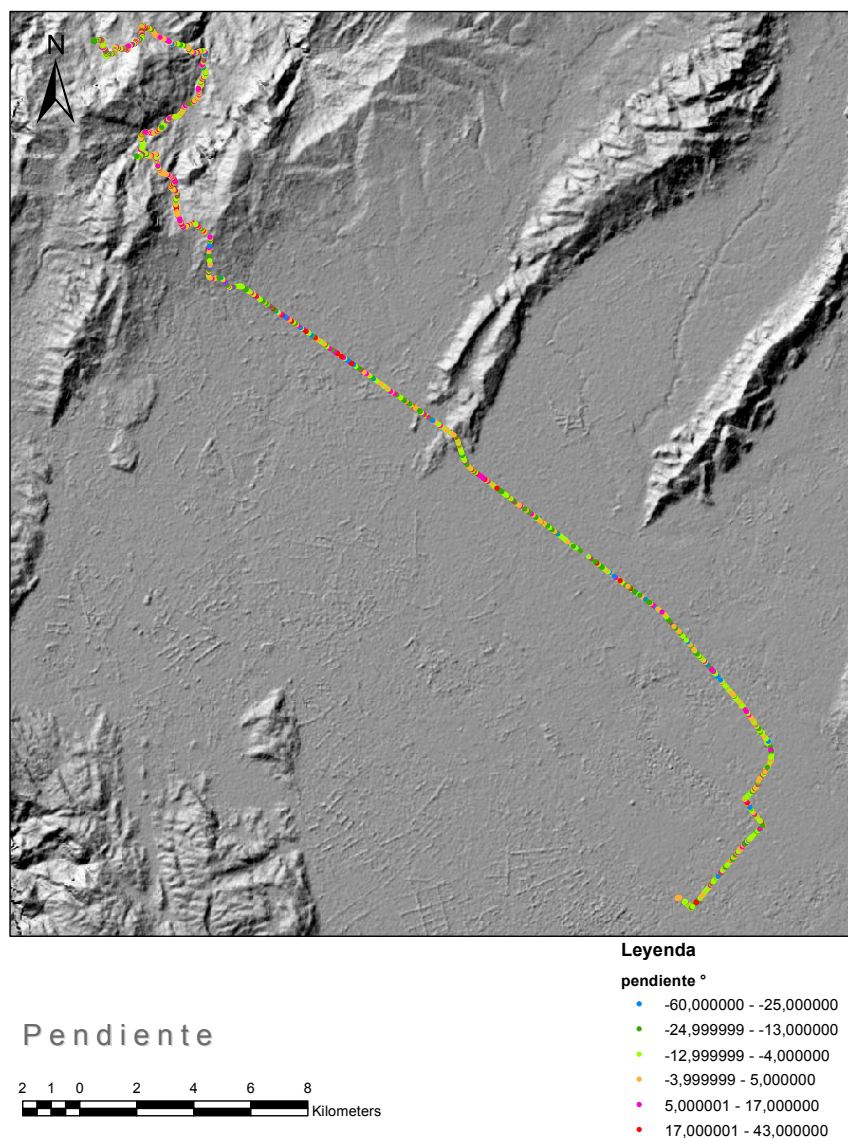


Figura C-4.: Pendiente

Referencias

- Aesan. (2010). *Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria*. Descargado de http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/guia_trazabilidad.pdf doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Ahumada, O., y Villalobos, J. R. (2011). A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Ann Oper Res*, 190, 339–358. Descargado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10479-009-0614-4.pdf> doi: 10.1007/s10479-009-0614-4
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., y Ayyash, M. (2015, 24). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7123563/> doi: 10.1109/COMST.2015.2444095
- Atzori, L., Iera, A., y Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122–140. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004> doi: 10.1016/j.adhoc.2016.12.004
- Aung, M. M., y Chang, Y. S. (2014, 5). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172–184. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713513005811> doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.007
- Azteca Comunicaciones. (2016). *Puntos de presencia de Azteca Comunicaciones Colombia*. Descargado de <http://www.aztecacomunicaciones.com:81/mapaazteca/index.html>
- Badia-Melis, R., Mishra, P., y Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. *Food Control*, 57, 393–401. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.005> doi: 10.1016/j.foodcont.2015.05.005
- Bárcena, A., Ejecutiva, S., Prado, A., y Adjunto, S. E. (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. *Publicación de las Naciones Unidas*. Descargado de <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>

- Beckeman, M., y Skjöldebrand, C. (2007, 4). Clusters/networks promote food innovations. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1418–1425. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406003633> doi: 10.1016/J.JFOODENG.2006.04.024
- Bollen, A., Riden, C., y Cox, N. (2007, 12). Agricultural supply system traceability, Part I: Role of packing procedures and effects of fruit mixing. *Biosystems Engineering*, 98(4), 391–400. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511007001833> doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.07.011
- Borgia, E. (2014, 12). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140366414003168> doi: 10.1016/j.comcom.2014.09.008
- Bosona, T., y Gebresenbet, G. (2013, 9). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32–48. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713513000790> doi: 10.1016/j.foodcont.2013.02.004
- Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., ... Lemmens, R. (2011, 3). New Generation Sensor Web Enablement. *Sensors*, 11(12), 2652–2699. Descargado de <http://www.mdpi.com/1424-8220/11/3/2652/> doi: 10.3390/s110302652
- Cainey, J., Gill, B., Johnston, S., Robinson, J., y Westwood, S. (2014, 9). Modelling download throughput of LTE networks. En *39th annual ieee conference on local computer networks workshops* (pp. 623–628). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6927712/> doi: 10.1109/LCNW.2014.6927712
- Chan, M. C., y Ramjee, R. (2005, 1). TCP/IP Performance over 3G Wireless Links with Rate and Delay Variation. *Wireless Networks*, 11(1-2), 81–97. Descargado de <http://link.springer.com/10.1007/s11276-004-4748-7> doi: 10.1007/s11276-004-4748-7
- Ciuffoletti, A. (2017, 10). OCCI-IoT: An API to Deploy and Operate an IoT Infrastructure. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1341–1348. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7997888/> doi: 10.1109/JIOT.2017.2734068
- Cobertura Movistar Colombia. (2015). *Mapas de Cobertura*. Descargado de <http://www.movistar.co/atencion-cliente/cobertura-tecnologia>
- Costantino, L., Buonaccorsi, N., Cicconetti, C., y Mambrini, R. (2012, 6). Performance analysis of an LTE gateway for the IoT. En *2012 ieee international symposium on a world of wireless, mobile and multimedia networks (wowmom)* (pp. 1–6). IEEE. Descargado

- de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6263789/> doi: 10.1109/WoWMoM.2012.6263789
- Dabbene, F., Gay, P., y Tortia, C. (2014, 4). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, 120, 65–80. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511013001554> doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006
- Darío Arango Serna, M., Enrique Londoño Salazar, J., y Andrés Zapata Cortés, J. (2010). ARQUITECTURA EMPRESARIAL – UNA VISIÓN GENERAL. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9174(16). Descargado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rum/v9n16/v9n16a09.pdf>
- David, D. R., Nait-Sidi-moh, A., Durand, D., y Fortin, J. (2015). Using Internet of Things technologies for a collaborative supply chain: Application to tracking of pallets and containers. *Procedia Computer Science*, 56(1), 550–557. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.251> doi: 10.1016/j.procs.2015.07.251
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas 1.2.2002 L 31_2. (2002). Descargado de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=EN>
- Dittmer, P., Veigt, M., y Scholz-Reiter, B. (2012). The intelligent container as a part of the Internet of Things. *Cyber Technology in*. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6392555/>
- Estep, E. (s.f.). Mobile HTML5: Efficiency and Performance of WebSockets and Server-Sent Events. Descargado de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:874674/FULLTEXT01.pdf>
- Evans, D. (2011). The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Descargado de https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Fahimnia, B., Sarkis, J., y Davarzani, H. (2015, 4). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101–114. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527315000067> doi: 10.1016/j.ijpe.2015.01.003
- fiducoldex. (2013). Plan de Negocios de Fresa Programa de Transformación Productiva. Descargado de <https://www.ptp.com.co/documentos/PLAN%20DE%20NEGOCIO%20FRESA%20diciembre.pdf>
- Fredriksson, A., y Liljestrand, K. (2015, 1). Capturing food logistics: a literature review and research agenda. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(1),

- 16–34. Descargado de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675567.2014.944887> doi: 10.1080/13675567.2014.944887
- GS1 ARGENTINA. (2003). Implementación de Trazabilidad. Descargado de <https://www.gs1.org.ar/documentos/TRAZABILIDAD.pdf>
- GSMA Latin America. (2017). *Country overview: Colombia La colaboración público-privada para promover la innovación y la creación de nuevas empresas* (Inf. Téc.). GSMA. Descargado de <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=96dd21c24a04e35db09df5d8db700817&download>
- Gula, M., y Žáková, K. (2017, 7). Proposal of Component Based Architecture for Internet of Things: online laboratory case study. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 337–342. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896317302124> doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.153
- Hobbs, J. E. (2004). Information Asymmetry and the Role of Traceability Systems. *Agribusiness*, 20(4), 397–415. doi: 10.1002/agr.20020
- Hongling, S. U. N., y Hang, Z. (2011). The Research on Integrated Grain Supply Chain Management Based on Internet of Things The Content and Features of Integrated Grain Supply Chain Integrated Grain Supply Chain Management Requires Support of Information Network Technology Internet of Things P. , 110–115. Descargado de <http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201010/2010dthy02a5.pdf>
- Jedermann, R., Ruiz-Garcia, L., y Lang, W. (2009, 3). Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), 145–154. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169908001993> doi: 10.1016/j.compag.2008.08.006
- John, V., y Liu, X. (2017). A Survey of Distributed Message Broker Queues. Descargado de <https://arxiv.org/pdf/1704.00411.pdf>
- Jover, R. P., y Murynets, I. (2015, 6). Connection-less communication of IoT devices over LTE mobile networks. En *2015 12th annual ieee international conference on sensing, communication, and networking (secon)* (pp. 247–255). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7338323/> doi: 10.1109/SAHCN.2015.7338323
- Karagiannis, V., Chatzimisios, P., Vazquez-Gallego, F., y Alonso-Zarate, J. (2015). A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things. *Transaction on IoT and Cloud Computing*. Descargado de <https://jesusalonsozarate.files.wordpress.com/2015/01/2015-transaction-on-iot-and-cloud-computing.pdf>

- Karlsen, K. M., Dreyer, B., Olsen, P., y Elvevoll, E. O. (2013, 8). Literature review: Does a common theoretical framework to implement food traceability exist? *Food Control*, 32(2), 409–417. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713512006718> doi: 10.1016/j.foodcont.2012.12.011
- Klaus Schwab. (2016). The Global Competitiveness Report. Descargado de http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf
- Larson, P. D., y Halldorsson, A. (2004, 3). Logistics versus supply chain management: An international survey. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 7(1), 17–31. Descargado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13675560310001619240> doi: 10.1080/13675560310001619240
- Liang, J.-M., Chen, J.-J., Cheng, H.-H., y Tseng, Y.-C. (2013, 3). An Energy-Efficient Sleep Scheduling With QoS Consideration in 3GPP LTE-Advanced Networks for Internet of Things. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 3(1), 13–22. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6472116/> doi: 10.1109/JETCAS.2013.2243631
- Liao, P.-A., Chang, H.-H., y Chang, C.-Y. (2011, 10). Why is the food traceability system unsuccessful in Taiwan? Empirical evidence from a national survey of fruit and vegetable farmers. *Food Policy*, 36(5), 686–693. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030691921100087X> doi: 10.1016/j.foodpol.2011.06.010
- Lindvall, M., y Sandahl, K. (1996). Practical implications of traceability. *Softw., Pract. Exper.*, 26(10), 1161–1180. doi: 10.1002/(SICI)1097-024X(199610)26:10<1161::AID-SPE58>3.3.CO;2-O
- Liu, Y., Peng, W., y Chen, X. (2013). Architecture design of food supply chain traceability system based on internet of things. *Journal of Applied Sciences*, 13(14). doi: 10.3923/jas.2013.2848.2852
- Lucia Rincón B, D., Esteban Fonseca Ramirez, J., y Arturo Orjuela Castro, J. (2017). Towards a Common Reference Framework for Traceability in the Food-Supply Chain. Hacia un Marco Conceptual Común Sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro de Alimentos. *Revista Ingeniería Universidad Distrital*. Descargado de https://www.researchgate.net/profile/Javier_Orjuela_Castro/publication/318241136_Hacia_un_Marco_Conceptual_Comun_sobre_Trazabilidad_en_la_Cadena_de_Suministro_de_Alimentos/links/596cd35aa6fdcc44f7d2ed6e/Hacia-un-Marco-Conceptual-Comun-sobre-Trazabilidad-e doi: 10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01

- Mapa de Cobertura Claro Colombia.* (2015). Descargado de <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>
- Marco geoestadístico nacional 2005_DANE. (2005). *Geoportal DANE - Marco Geoestadístico Nacional por departamento.* Descargado de <https://geoportal.dane.gov.co/v2/?page=elementoDescargaMGN>
- Mass, C. F., y Madaus, L. E. (2014). SURFACE PRESSURE OBSERVATIONS FROM SMARTPHONES A Potential Revolution for High-Resolution Weather Prediction? Descargado de <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-13-00188.1> doi: 10.1175/BAMS-D-13-00188.1
- Michel, S., Vargo, S. L., y Lusch, R. F. (2008). Reconfiguration of the conceptual landscape: A tribute to the service logic of Richard Normann. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 152–155. Descargado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.630.2346&rep=rep1&type=pdf> doi: 10.1007/s11747-007-0067-8
- Mobile Networks Update: Colombia - OpenSignal.* (2018). Descargado de <https://opensignal.com/reports/2018/01/colombia/mobile-networks-update>
- Moe, T. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture. En *Trends in food science and technology* (Vol. 9, pp. 211–214). doi: 10.1016/S0924-2244(98)00037-5
- Narsimhalu, U., Potdar, V., y Kaur, A. (2015, 5). A Case Study to Explore Influence of Traceability Factors on Australian Food Supply Chain Performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 17–32. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042815019813> doi: 10.1016/j.sbspro.2015.03.188
- Nechifor, S., Târnaucă, B., Sasu, L., y Puiu, D. (2014). Autonomic monitoring approach based on cep and ml for logistic of sensitive goods. (*INES*), 2014 18th Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6909343/>
- Ng, I. C., y Wakenshaw, S. Y. (2017). The Internet-of-Things: Review and research directions. *International Journal of Research in Marketing*, 34(1), 3–21. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijresmar.2016.11.003> doi: 10.1016/j.ijresmar.2016.11.003
- Nukala, R., Panduru, K., Shields, A., Riordan, D., Doody, P., y Walsh, J. (2016). Internet of Things: A review from 'Farm to Fork'. En *2016 27th irish signals and systems conference, issc 2016*. doi: 10.1109/ISSC.2016.7528456
- Olubusayo Richard Adeyemo Supervised by Paul Lin, B. I. (2016). INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY AN INSIGHT FOR BUSINESS INTEGRATION Executive Summary cont. Descargado de [http://www.etc.sipfw.edu/~lin/CPET581-InternetOfThings/1-Lectures/FinalPresentation\(Final\)-RichardAdeyemo.pdf](http://www.etc.sipfw.edu/~lin/CPET581-InternetOfThings/1-Lectures/FinalPresentation(Final)-RichardAdeyemo.pdf)

- Onori, R., Lopardo, R., De Giacomo, M., De Santis, B., Prantera, E., Palmaccio, E., y Brera, C. (2013, 12). Traceability of genetically modified Roundup Ready soybean: A case study on sampling and analytical uncertainty along processing chain. *Food Control*, 34(2), 494–501. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713513002533> doi: 10.1016/j.foodcont.2013.05.012
- Orjuela-Castro, J. A., Herrera-Ramírez, M. M., y Adarme-Jaimes, W. (2017). Warehousing and transportation logistics of mango in Colombia: A system dynamics model. *Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing. Enero-Abril)*, 26(44), 71–84. Descargado de <https://search.proquest.com/openview/4345a4c706a1b9a8b641f97077f3d910/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043296> doi: 10.19053/01211129.v26.n44.2017.5773
- Overeem, A., Leijnse, H., y Uijlenhoet, R. (2013, 2). Country-wide rainfall maps from cellular communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(8), 2741–5. Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23382210> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3581927> doi: 10.1073/pnas.1217961110
- Overeem, A., Robinson, J. C., Leijnse, H., Steeneveld, G. J., P. Horn, B. K., y Uijlenhoet, R. (2013, 8). Crowdsourcing urban air temperatures from smartphone battery temperatures. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 4081–4085. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1002/grl.50786> doi: 10.1002/grl.50786
- O’Keeffe, M. (2001, 3). Myths and realities of e-commerce in the perishable foods industries: unleashing the power of reputation and relationship assets. *Supply Chain Management: An International Journal*, 6(1), 12–15. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/13598540110694644> doi: 10.1108/13598540110694644
- Pallas, R. (2005). *Sensores Y Acondicionadores De Senal* (Vol. XXXIII) (n.º 2). Marcombo Boixareu. Descargado de https://books.google.com.co/books/about/Sensores_y_acondicionadores_de_seal.html?id=Eevyk28_fVkc&redir_esc=y
- Pang, Z., Chen, Q., Han, W., y Zheng, L. (2015). Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: Value creation, sensor portfolio and information fusion. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 289–319. doi: 10.1007/s10796-012-9374-9
- Ramzan, M., y Shaheen, J. A. (2017). Comparison: 3G Wireless Networks with 4G Wireless Networks Technology Wise. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 108, 1–10. Descargado de <http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2017.108.01> doi: 10.14257/ijast.2017.108.01
- Ratasuk, R., Mangalvedhe, N., y Ghosh, A. (2015, 8). Overview of LTE enhancements for cellular IoT. En *2015 IEEE 26th annual international symposium on personal, indoor, and*

- mobile radio communications (pimrc)* (pp. 2293–2297). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7343680/> doi: 10.1109/PIMRC.2015.7343680
- Rico-Alvarino, A., Vajapeyam, M., Xu, H., Wang, X., Blankenship, Y., Bergman, J., ... Yavuz, E. (2016, 6). An overview of 3GPP enhancements on machine to machine communications. *IEEE Communications Magazine*, 54(6), 14–21. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7497761/> doi: 10.1109/MCOM.2016.7497761
- Ruiz Moreno, A. F., Caicedo Otavo, A. L., y Orjuela Castro, J. A. (2015). Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte. *Ingeniería*, 20, 9–30. Descargado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2015000200002&nrm=iso
- Sánchez Chiappe, I., y Angel Herrero, V. (1997, 1). The Status of Supply Chain Management in Argentina's Food Industry. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 87–96. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09574099710805619> doi: 10.1108/09574099710805619
- Satit, K., y Somjit, A.-i. (2017, 6). RESTful economic-ADS model for cost-effective chain-wide traceability system-based cloud computing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 164–179. Descargado de <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.unal.edu.co/science/article/pii/S0168169916303544> doi: 10.1016/J.COMPAG.2017.05.015
- Schekkerman, J. (2008). *Enterprise architecture good practices guide : how to manage the enterprise architecture practice*. Trafford Pub. Descargado de https://books.google.com.co/books/about/Enterprise_Architecture_Good_Practices_G.html?id=gSpLNwAACAAJ&redir_esc=y
- Shukla, M., y Jharkharia, S. (2013, 2). Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(2), 114–158. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/01443571311295608> doi: 10.1108/01443571311295608
- SKILTON, P. F., y ROBINSON, J. L. (2009, 7). Traceability and Normal Accident Theory: How Does Supply Network Complexity Influence the Traceability of Adverse Events? *Journal of Supply Chain Management*, 45(3), 40–53. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-493X.2009.03170.x> doi: 10.1111/j.1745-493X.2009.03170.x
- Smith, G., Tatum, J., Belk, K., Scanga, J., Grandin, T., y Sofos, J. (2005, 9). Traceability from a US perspective. *Meat Science*, 71(1), 174–193. Descargado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22064063http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174005001178> doi: 10.1016/j.meatsci.2005.04.002

- Tang, H., Shi, J., y Lei, K. (2016, 6). A smart low-consumption IoT framework for location tracking and its real application. En *2016 6th international conference on electronics information and emergency communication (iceiec)* (pp. 306–309). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7589744/> doi: 10.1109/ICEIEC.2016.7589744
- Theodoras, D. T. (2006, 12). Customer service differentiation in the Greek food market: the case of chilled and ambient products. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(4), 383–393. Descargado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13675560600727762> doi: 10.1080/13675560600727762
- van der Vorst, J. G., y Beulens, A. J. (2002, 8). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 409–430. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09600030210437951> doi: 10.1108/09600030210437951
- Vargheese, R., y Dahir, H. (2014). An IoT/IoE enabled architecture framework for precision on shelf availability: Enhancing proactive shopper experience. En *Proceedings - 2014 ieee international conference on big data, ieee big data 2014*. doi: 10.1109/BigData.2014.7004418
- Vermesan, O., y Friess, P. (2014). Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment River Publishers Series in Communication. Descargado de http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC.Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf
- Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., ... Borriello, G. (2009, 5). Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience. *IEEE Internet Computing*, 13(3), 48–55. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/4907686/> doi: 10.1109/MIC.2009.52
- Wood, W. G. (2007). A Practical Example of Applying Attribute-Driven Design (ADD), Version 2.0 Software Architecture Technology Initiative. Descargado de <http://www.sei.cmu.edu/publications/pubweb.html>
- Xu, R., Yang, L., y Yang, S.-H. (2013). Architecture design of internet of things in logistics management for emergency response. En *Proceedings - 2013 ieee international conference on green computing and communications and ieee internet of things and ieee cyber, physical and social computing, greencom-ithings-cpscom 2013*. doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCOM.2013.85
- Zhao, X., Fan, H., Zhu, H., Fu, Z., y Fu, H. (2015). The Design of the Internet of Things Solution for Food Supply Chain. En *Proceedings of the 2015 international conference on*

education, management, information and medicine. Paris, France: Atlantis Press. Descargado de <http://www.atlantis-press.com/php/paper-details.php?id=21432> doi: 10.2991/emim-15.2015.61